

Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Volumen. 1 Número. 3

Diciembre 2008



RAMD

Editorial

2008 cumplido... nuevos retos para 2009

Originales

Wavelet transform analysis of heart rate variability for determining ventilatory thresholds in cyclists

Análisis del equilibrio estático en sujetos sanos mediante el cálculo de la entropía muestral

Modificaciones espirométricas en una población que se inicia en el buceo con aire comprimido

Estudio atribucional sobre los motivos del éxito y fracaso deportivo en función de la modalidad practicada

Revisión

Índice glucémico y ejercicio físico

Estudio de caso

Trombosis de la vena central de la retina en el deporte. A propósito de un caso

Nuestro punto de vista

Dinámicas no lineales en fisiología humana

ISSN: 1888-7546

MEDICINA INTERNA Y CARDIOLOGÍA, FISIOLOGÍA, NUTRICIÓN, BIOQUÍMICA Y CINEANTROPOMETRÍA, PSICOLOGÍA, PODOLOGÍA, APARATO LOCOMOTOR, BIOMECÁNICA, RECUPERACIÓN FUNCIONAL Y LABORATORIO MUSCULAR

Centro Andaluz de Medicina del Deporte

Almería

Isla de Fuerteventura
04071, Almería
Teléfono: 950.17.52.30
Fax: 950.17.52.35
camd.almeria.ctcd@
juntadeandalucia.es

Cádiz

Complejo Deportivo Bahía Sur.
Paseo Virgen del Carmen s/n
11100, San Fernando (Cádiz)
Teléfono: 956.20.3130
Fax: 956.59.03.35
camd.cadiz.ctcd@
juntadeandalucia.es

Córdoba

Pabellón Vistalegre.
Plaza Vista Alegre, s/n
14071, Córdoba
Teléfono: 957.35.51.85
Fax: 957.35.51.88
camd.cordoba.ctcd@
juntadeandalucia.es

Granada

Hospital san Juan de Dios.
San Juan de Dios, s/n
18071, Granada
Teléfono y Fax: 958.02.68.02
camd.granada.ctcd@
juntadeandalucia.es

Huelva

Ciudad Deportiva de Huelva.
Avda. Manuel Siurot, s/n
21071, Huelva.
Teléfono: 959.01.59.12
Fax: 959.01.59.15
camd.huelva.ctcd@
juntadeandalucia.es

Jaén

C/ Menéndez Pelayo Nº 2
23003, JAÉN
Teléfono: 953 313 912
Fax: 953 313 913
camd.jaen.ctcd@
juntadeandalucia.es

Málaga

Inst. Deportivas de Carranque
Santa Rosa de Lima, 7
29071, Málaga
Teléfono: 951.03.57.30
Fax: 951.03.57.32
camd.malaga.ctcd@
juntadeandalucia.es

Sevilla

Isla de la Cartuja, s/n
Glorieta Beatriz Manchón, s/n
41092, Sevilla.
Teléfono: 955.06.20.25
camd.ctcd@
juntadeandalucia.es



JUNTA DE ANDALUCÍA

CONSEJERÍA DE TURISMO, COMERCIO Y DEPORTE

Centro Andaluz de Medicina del Deporte

www.juntadeandalucia.es/turismocomercioydeporte/camd

Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Publicación Oficial del Centro Andaluz de Medicina del Deporte

Edita

Centro Andaluz de Medicina del Deporte.
Consejería de Turismo, Comercio y Deporte.

Dirección

Leocricia Jiménez López

Editor

Marzo Edir Da Silva Grigoletto
editor.ramd.ctcd@juntadeandalucia.es

Coordinación Editorial

ramd.ctcd@juntadeandalucia.es
Clemente Rodríguez Sorroche y Lucía Quiroga Rey
(Servicio de Información, Documentación, Estudios y Publicaciones)

Asesor legal

Juan Carlos Rubio Liñán

Comité Editorial

Bernardo Viana Montaner	Juan de Dios Beas	José Naranjo Orellana
Carlos de Teresa Galván	Leocricia Jiménez López	José Ramón Gómez Puerto
Carlos Melero Romero	Marzo Edir Da Silva Grigoletto	Ruth Pesquera Guerrero
Francisco Gallardo Rodríguez	Ramón Antonio Centeno Prada	

Comité Científico

Ary L. Goldberger (Harvard Medical School, Boston, USA)	Eloy Cárdenas Estrada (Universidad de Monterrey, México)
Benedito Denadai (Universidade Estadual de Campinas, Brasil)	Elsa Esteban Fernández (Universidad de Granada, España)
Benno Bercker Junior (Universidade Luterana do Brasil, Brasil)	José Ramón Gómez Puerto (Centro Andaluz de Medicina del Deporte, España)
Bernardo Hernán Viana Montaner (Centro Andaluz de Medicina del Deporte, España)	Juan Ribas (Universidad de Sevilla, España).
Carlos Ruiz Cosano (Universidad de Granada, España)	Madalena Costa (Harvard Medical School, Boston, USA)
Clodoaldo Antonio de Sá (Universidade Comunitária Regional de Chapecó, Brasil)	Nicolás Terrados Cepeda (Unidad Regional de Medicina Deportiva del Principado de Asturias)
Carlos Ugrinowitsch (Universidade de São Paulo, Brasil)	Nick Stergiou (University of Nebraska, USA)
Carlos Melero (Centro Andaluz de Medicina del Deporte, España)	Juan Manuel García Manso (Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España)
Diana Vaamonde (Universidad de Córdoba, España)	



Travessera de Gràcia, 17-21
Tel.: 932 000 711
08021 Barcelona

Infanta Mercedes, 90
Tel.: 914 021 212
28020 Madrid

Publicación cuatrimestral (3 números al año).

sitará la oportuna autorización, que será concedida por CEDRO mediante licencia dentro de los límites establecidos en ésta. REVISTA ANDALUZA DE MEDICINA DEL DEPORTE se distribuye exclusivamente entre los profesionales de la salud.

Disponible en internet: www.elsevier.es/RAMD

Protección de datos: Elsevier España, S.L., declara cumplir lo dispuesto por la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal

Papel ecológico libre de cloro.

Esta publicación se imprime en papel no ácido.
This publication is printed in acid-free paper.

Correo electrónico: ramd.ctcd@juntadeandalucia.es
Impreso en España
Depósito legal: B-0000-2008
ISSN: 1888-7546

© Copyright 2008 Centro Andaluz de Medicina del Deporte
Reservados todos los derechos. El contenido de la presente publicación no puede ser reproducido, ni transmitido por ningún procedimiento electrónico o mecánico, incluyendo fotocopia, grabación magnética, ni registrado por ningún sistema de recuperación de información, en ninguna forma, ni por ningún medio, sin la previa autorización por escrito del titular de los derechos de explotación de la misma. ELSEVIER ESPAÑA, a los efectos previstos en el artículo 32.1 párrafo segundo del vigente TRLPI, se opone de forma expresa al uso parcial o total de las páginas de REVISTA ANDALUZA DE MEDICINA DEL DEPORTE con el propósito de elaborar resúmenes de prensa con fines comerciales.

Cualquier acto de explotación de la totalidad o parte de las páginas de REVISTA ANDALUZA DE MEDICINA DEL DEPORTE con el propósito de elaborar resúmenes de prensa con fines comerciales nece-

Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Volume 1 Number 3

December 2008

Contents

Editorial

- 89 2008 finished... new challenges for 2009
M. E. Da Silva Grigoletto

Original Articles

- 90 Wavelet transform analysis of heart rate variability for determining ventilatory thresholds in cyclists
J. M. García-Manso, S. Sarmiento-Montesdeoca, J. M. Martín-González, F. J. Calderón-Montero and M. E. Da Silva-Grigoletto
- 98 Analysis of static equilibrium in healthy subjects by the calculation of sample entropy
J. Algaba del Castillo, B. de la Cruz Torres, J. Naranjo Orellana, R. A. Centeno Prada and J. de D. Beas Jiménez
- 102 Spirometric modifications in a population that initiates scuba diving with compressed air
A. Olea González, S. Balanza Galindo and M. J. Alcaraz García
- 108 Attributional study on the reasons for success and failure in sports based on the modality practiced
P. Malico Sousa, A. Rosado, T. Cabrita and J. L. Lancho

Review Article

- 116 Glycemic index and physical exercise
J. Marcelo Fernández, J. López Miranda and F. Pérez Jiménez

Case study

- 125 Thrombosis of the central retinal vein in sports. A case report
J. de D. Beas Jiménez, R. A. Centeno Prada, M. E. da Silva Grigoletto, J. R. Gómez Puerto, B. Viana Montaner and C. Melero Romero

Our Point of View

- 128 Non linear dynamics in human physiology
Editorial Board of the Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Volumen 1 Número 3

Diciembre 2008

Sumario

Editorial

- 89 2008 cumplido... nuevos retos para 2009
M. E. Da Silva Grigoletto

Originales

- 90 Wavelet transform analysis of heart rate variability for determining ventilatory thresholds in cyclists
J. M. García-Manso, S. Sarmiento-Montesdeoca, J. M. Martín-González, F. J. Calderón-Montero y M. E. Da Silva-Grigoletto
- 98 Análisis del equilibrio estático en sujetos sanos mediante el cálculo de la entropía muestral
J. Algaba del Castillo, B. de la Cruz Torres, J. Naranjo Orellana, R. A. Centeno Prada y J. de D. Beas Jiménez
- 102 Modificaciones espirométricas en una población que se inicia en el buceo con aire comprimido
A. Olea González, S. Balanza Galindo y M. J. Alcaraz García
- 108 Estudio atribucional sobre los motivos del éxito y fracaso deportivo en función de la modalidad practicada
P. Malico Sousa, A. Rosado, T. Cabrita y J. L. Lancho

Revisión

- 116 Índice glucémico y ejercicio físico
J. Marcelo Fernández, J. López Miranda y F. Pérez Jiménez

Estudio de caso

- 125 Trombosis de la vena central de la retina en el deporte. A propósito de un caso
J. de D. Beas Jiménez, R. A. Centeno Prada, M. E. da Silva Grigoletto, J. R. Gómez Puerto, B. Viana Montaner y C. Melero Romero

Nuestro punto de vista

- 128 Dinámicas no lineales en fisiología humana
Comité Editorial Revista Andaluza de Medicina del Deporte



SAMEDI

Sociedad Andaluza de Medicina del Deporte

La sociedad científica de los profesionales de la
Medicina de la Educación Física y el Deporte

**Hazte Socio,
por una módica
aportación te ofrecemos:**

Información constante y actualizada sobre actividades científicas y de formación en todas las áreas de la medicina de la educación física y el deporte.

Grupos de trabajo de Deporte-Salud, Rendimiento Deportivo, Valoración Funcional, Nutrición Educación Física, Fisioterapia, Enfermería.

Correo Institucional (tu_nombre@samede.org).

Página Web (En construcción) con múltiples contenidos de gran interés para los profesionales para compartir información actualizada, formación continua y conocimientos (Red de información).

Becas de asistencia a eventos científicos de relevancia.

Asesoramiento técnico para investigación.

Cuota de miembro gratuita para estudiantes de la especialidad de Medicina de la Educación Física y el Deporte.

**Para más información
e inscripciones:**

Dr. Juan de Dios Beas Jiménez
Centro Andaluz de Medicina del Deporte
Glorieta Beatriz Manchón s/n (CAR de la Cartuja) 41092 Sevilla
vicepresidencia@samede.org Tlf: 955062046 ó 669702458



Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Rev Andal Med Deporte. 2008;1(3):89

www.elsevier.es/ramd



Editorial

2008 cumplido... nuevos retos para 2009

Llega diciembre, mes propicio para hacer balance de los meses previos y cerrar el año en curso. Nosotros, en la Revista Andaluza de Medicina del Deporte, sentimos que es nuestra obligación hacer este tipo de reflexión también, pues uno de los objetivos fijados es la consecución de la mejora de la calidad de la revista, y esta mejora pasa ineludiblemente por unas reflexiones profundas.

Al mirar atrás y hacer balance de este año de la Revista Andaluza de Medicina del Deporte, nos damos cuenta de que es mucho lo que se ha logrado durante esta breve pero intensa andadura con el baluarte de una renovada publicación científica. Hemos conseguido, a base de gran esfuerzo, elevar la calidad de la misma no sólo en lo referente a formato sino también, y más importante, en lo que respecta al contenido científico. Este hecho queda plasmado en el respeto obtenido en el ámbito de la comunidad científica.

Fe de ello ha sido la gran aceptación de la que la revista gozó, para nuestra inmensa satisfacción y alegría, durante la celebración del *XXX FIMS World Congress of Sports Medicine* que tuvo lugar en Barcelona del 18-23 de noviembre. En estos días recibimos numerosos elogios por parte de diversos miembros de la comunidad científica tanto nacional como internacional.

Durante el 2008 la revista científica ha sabido cumplir su compromiso sobre la periodicidad de publicación, ha publicado artículos de paten-

te calidad científica y ha llevado el nombre de Andalucía a toda España e Iberoamérica, donde se distribuye gratuitamente en formato digital a más de 25 mil profesionales y estudiantes.

Dando testimonio de que la ciencia no tiene fronteras, o que al menos no debería, la Revista Andaluza de Medicina del Deporte publica artículos en los idiomas español, inglés y portugués. Es destacable la excelente labor desempeñada por parte del Comité Editorial, que ha sabido engranar artículos de diversa índole, logrando perfilar temas de interés y atractivo científico.

Pero no podemos quedarnos únicamente en felicitaciones; nuestro deseo es mejorar constantemente, superar barreras y llevar al Centro Andaluz de Medicina del Deporte a lo más alto en el mundo de las ciencias del deporte. El balance y las reflexiones sólo sirven cuando nos ofrecen algo por lo que luchar, una motivación; así pues, tenemos retos futuros y como reto para 2009 hemos fijado pasar su periodicidad actual (cuatrimestral) a trimestral, al igual que conseguir su indexación en bases de datos de reconocido prestigio internacional.

Marzo Edir Da Silva Grigoletto
Editor de Revista Andaluza de Medicina del Deporte



Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Rev Andal Med Deporte. 2008;1(3):90-7

www.elsevier.es/ramd



Original

ARTÍCULO EN INGLÉS

Wavelet transform analysis of heart rate variability for determining ventilatory thresholds in cyclists

J. M. García-Manso^a, S. Sarmiento-Montesdeoca^a, J. M. Martín-González^a, F. J. Calderón-Montero^b
and M. E. Da Silva-Grigoletto^c

^aDepartment of Physical Education. University of Las Palmas de Gran Canaria. Las Palmas de Gran Canaria. Spain.

^bFaculty of Physical Activity and Sport Science (INEF). Technical University of Madrid. Madrid. Spain.

^cAndalusian Center of Sports Medicine. Córdoba. Spain.

History of the article:

Received June 13, 2008

Accepted October 7, 2008

Key words:

Heart rate variability.

Exercise.

Time frequency analysis.

Non linear analysis.

ABSTRACT

Purpose. This study aims to compare the relationship between the ventilatory thresholds and the aerobic and anaerobic thresholds obtained by continuous wavelet transform (CWT) of heart rate variability (HRV).

Methods. Eight healthy, trained, male cyclists (age: 17.12 ± 1.11 years; height: 1.73 ± 0.06 m; weight: 69.96 ± 8.03 kg) underwent an ergospirometric test on a cycloergometer, performing an incremental protocol until exhaustion. The cardiac signal was recorded using cardiotelemeters. The aerobic-anaerobic transition phase was identified by wavelet analysis using the kinetics of the maximum spectral energy peaks (f_p) of the HRV high-frequency (HF) and very high-frequency (VHF) bands, and those of the product of the HF-VHF instantaneous spectral power (ms^2) and f_p ($PS \cdot f_p$). The aerobic and anaerobic thresholds obtained were compared to those provided by the standard analysis of gas exchange variables.

Results. No significant differences were observed between the aerobic and anaerobic thresholds identified by wavelet analysis involving either f_p or $PS \cdot f_p$, and those identified by the respiratory exchange variables. Bland-Altman plots showed that both methodologies identified identical transition zones. When the comparison variable used in the wavelet analysis was f_p , a close agreement was seen with the gaseous exchange variable analysis in terms of the aerobic threshold; the relationship was less strong for the anaerobic threshold. When the comparison variable was $PS \cdot f_p$, the relationship between the methodologies was again within the acceptable range, although this time agreement was stronger for the anaerobic threshold.

Conclusion. Wavelet analysis of the HRV is a valid method for identifying the aerobic-anaerobic transition phase.

© 2008 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

RESUMEN

Análisis de la transformación de wavelet para determinar umbrales ventilatorios en ciclistas

Objetivo. El objetivo de este estudio es el de comparar la relación entre umbrales ventilatorios y umbrales aeróbicos y anaeróbicos obtenida empleando la transformada de wavelet continua (TWC) de la variabilidad de ritmo cardiaco (VRC).

Métodos. Ocho ciclistas varones, sanos y expertos (edades: $17,12 \pm 1,11$ años; altura: $1,73 \pm 0,06$ m; peso: $69,96 \pm 8,03$ kg) hicieron una prueba de ergoespirometría en un cicloergómetro, haciendo un protocolo progresivo hasta llegar a un cansancio total. El signo cardiaco fue registrado con cardiotelemetros. La fase de transición aeróbica-anaeróbica fue identificada por análisis de wavelet, utilizando las cinéticas de pico del espectro de máxima energía (f_p) de las bandas de alta frecuencia (AF) de VRC y de muy alta frecuencia (MAF), y los picos del producto de la potencia espectro instantánea AF-MAF (ms^2) y f_p ($PS \cdot f_p$). Los umbrales aeróbicos y anaeróbicos obtenidos fueron comparados con los obtenidos por el análisis estándar de las variables de intercambio gaseoso.

Resultados. No hubo diferencias significativas entre los umbrales aeróbicos y anaeróbicos identificados por análisis wavelet que implicaban f_p o $PS \cdot f_p$, y los identificados por las variables de intercambio respiratorio. Los diagramas de cajas de Bland-Altman demuestran que ambas metodologías identificaron zonas de transición idénticas. Cuando la variable de comparación utilizada en el análisis de wavelet fue f_p , observaron un acuerdo importante en el análisis de la variable de intercambios gaseosos en términos del umbral aeróbico; la relación fue menos fuerte para el umbral anaeróbico. Cuando la variable de comparación fue $PS \cdot f_p$, la relación entre las metodologías fue, de nuevo, dentro del rango aceptable, aunque esta vez el acuerdo fue más fuerte para el umbral anaeróbico.

Conclusión. El análisis de wavelet del VRC es un método válido para identificar la fase de transición aeróbico-anaeróbico.

© 2008 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

Palabras clave:

Variabilidad de frecuencia cardiaca.

Ejercicio.

Análisis de ritmos de tiempo.

Análisis no lineal.

Correspondence:

J. M. García-Manso.

Departamento de Educación Física.

Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte.

Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

35017 Ilhas Canarias. España.

E-mail:

jgarcia@def.ulpgc.es

Introduction

It is known that, during exercise, the anaerobic threshold (AT) is the level of exertion where your body must switch from aerobic metabolism to anaerobic metabolism. The AT is also defined as the VO_2 above which the lactate/pyruvate ratio increases¹. In the field of sports and physical activity, this threshold is used to analyze physical fitness and to provide a criterion for setting training workloads. One of the most frequently used methods for determining AT is the analysis of gas exchange variables, which establishes both the ventilatory aerobic and anaerobic thresholds (VT_1 , ventilatory threshold 1, and VT_2 , ventilatory threshold 2, respectively)². However, this requires sophisticated and expensive equipment which is not always available to sports technicians.

An alternative methodology involves measuring heart rate (HR), whether it is by measuring the absolute response of the HR in beats/min³⁻⁵, or by analyzing HR variability (HRV)⁶⁻¹⁹.

A number of different mathematical approaches have been employed for HRV analysis and its application in determining thresholds. One of the most frequently utilized is fast Fourier transform (FFT), which sorts HR into a series of bandwidths: low-frequency (LF) (< 0.15 Hz), high-frequency (HF) (0.15-0.4 Hz) and very high-frequency (VHF) (> 0.4 Hz). The LF band is under sympathetic and vagal cardiovascular control, while the HF and VHF bands are related to sinorespiratory arrhythmia, and are, therefore, under vagal control. However, FFT might not be the most appropriate method since it is relatively simple only for the analysis of stationary signals.

One of the shortcomings of the Fourier transform is that it does not offer any information about the time at which a given frequency component occurs. This is not a problem for stationary signals, signals whose frequency content does not change with time, but does leave room for improvement when non-stationary signals are involved. In order to solve this problem, short time Fourier transform (STFT) has been suggested. In this method, the non-stationary signal is divided into small portions, which are assumed to be individually stationary. For this purpose, a window function of a given width is selected, this window function is shifted during the signal, and in each case, the Fourier transform is then applied to each of these portions. Thus, it becomes necessary that an agreement with regards to window size be made. It is known that STFT may fail if the signal contains both slowly changing components and rapidly changing transient events. Moreover, in the case of non-stationary signals, it is necessary to select sufficiently short windows. This improves temporal resolution but produces deterioration in frequency resolution.

In order to overcome the problem of non-stationarity, a number of solutions, known as time-frequency analysis, have been proposed. One of the most known of these is the "Wigner-Ville Distribution"²⁰, which is functionally similar to a spectrogram but offers better temporal and frequency resolution.

Another method is that known as time-scale or "wavelet" transform analysis (WTA). This methodology is relatively recent and is gradually becoming widely used in the study of non-stationary biological signals such as HRV. WTA utilizes short windows at high frequencies and long windows at low frequencies and can be successfully applied to non-stationary signals for analysis and processing. The underlying concept of WTA is to analyze according to scale; for such purpose base functions known as "mother wavelets" of finite energy and duration are used. They retain their form at different scales (via dilatation or compression of the base signal). In such way, the wavelet transform coefficients are obtained when shifting the base function by an extremely small amount in time

for each scale factor. The scalogram (wavelet transform plot) of the continuous wavelet transform (CWT) obtained in this way is a function of two variables, $[X(a,b)]^2$, where b is the translation factor and a the scale factor, and is represented on a two-dimensional plane. The scalogram contains information about the temporal localization of "events", but is dependent on the base function selected for the analysis. For the best-known wavelet functions, it is quite straightforward to relate the scale at which a signal is evaluated to the frequency. Another advantage of WTA is the existence of a distinct version known as discrete wavelet transformation (DWT), which enables a signal to be decomposed into a set of mutually orthogonal signals in such way that each one of these covers a particular region of the total frequency spectrum. Among other things, this model allows us to eliminate parts of a signal (detrending, denoising, etc.) very easily, while leaving us in good control of the frequency component that has been eliminated. Generally speaking, WTA also produces good results in terms of the clarity and discrimination of patterns.

Another problem with this type of methods is what is known as the "uncertainty principle" which, in short, states that the more accurate the temporal localization of a given pattern is, the less well defined its frequency will be, and *vice versa*; i.e. improved accuracy of frequency definition has a negative effect on time measurement. In the case of CWT, this situation can be dealt with by a suitable choice of base function, both in order to reach a good compromise between time and frequency and to fix the value of one of these two parameters. A single base function, such as the Morlet wavelet function, thus depends on a parameter that we can operate on, and that defines its angular frequency. In any case, the choice must always be made prior to the analysis.

Thus, the main objective of this paper was to demonstrate that WTA is also capable of providing good results when we need to obtain information regarding the measurement of thresholds, using HRV as the study parameter and for which good, and easily utilizable software packages are available. To this end, on the basis of an HRV signal obtained via an incremental test, and using WTA, we attempt to identify the first and second thresholds and compare them with those obtained from ventilatory parameters obtained through the use of traditional methods.

Methods

Subjects

The study subjects were 8 healthy, male, high-performance cyclists (descriptive anthropometric and physiological characteristics for the sample are shown in table 1), all of whom were familiar with cycloergometer tests. The subjects were informed of the nature of the study, which

Table 1
Physiological characteristics of the subjects (n = 8)

Age (years)	17.12 ± 1.11
Height (m)	1.73 ± 0.06
Weight (kg)	69.96 ± 8.03
Body fat percent (%)	9.05 ± 1.56
HR _{rep} (beats/min ⁻¹)	54.38 ± 8.81
HR _{max} (beats/min ⁻¹)	196 ± 4.99
W _{max} (watts)	427.5 ± 37.98
W _{rel} (watts/kg ⁻¹)	6.14 ± 0.55
VO _{2rel} (ml/min ⁻¹ /kg ⁻¹)	78.95 ± 7.63

HR_{max}: heart rate maximum; HR_{rep}: heart rate at rest; VO_{2rel}: oxygen uptake maximum relative at weight; W_{max}: work load maximum; W_{rel}: work load maximum relative at weight.

adhered to the ethical guidelines of the Declaration of Helsinki, and all gave their written informed consent to be included. The study protocol was approved by the Ethics Committee of the University of Las Palmas de Gran Canaria. Height and weight were measured before each test. Six skinfold measurements were taken (triceps, subscapular, suprailiac, abdominal, thigh and calf) and the Yuhasz formula was used to determine percentage body fat²¹.

Experimental design

In this cross-sectional study the exercise tests were performed using a cycloergometer with an electromagnetic braking system (Jaeger ER800, Erich Jaeger, Germany). Before starting the incremental load test the subjects spent 2 min at rest on the cycloergometer to determine baseline values. After a warm-up period of 10 min (5 min at 50 W and 5 min at 100 W), all subjects pedaled at between 80-90 rpm with load increases of 5 W every 12 s (25 W/min⁻¹) until exhaustion. All tests were performed at a room temperature of 21 °-24 °C and a relative humidity of 44-55%.

Data acquisition

The subjects breathed normal air through a low resistance valve using a mask of known dead volume. The composition and volume of the expired air was determined using a Jaeger Oxicon Pro analyzer (Erich Jaeger, Germany); this adheres to the standards of the American Thoracic Society and the European Communities Chemistry Society. Gaseous exchange data were processed breath by breath using LabManager v. 4.53 software (Erich Jaeger, Germany). Prior to each test, the equipment was calibrated using a gas of composition 16% O₂, 5% CO₂ and 79% N₂. HR was monitored beat by beat using a Polar S810i RR cardiometer (Polar Electro, Oy, Finland) and a Jaeger ECG surface electrocardiograph (Viasys Healthcare, Erich Jaeger, Germany). The cardiometric recording of the HR is a validated method²². The cardiac data were processed using Polar Precision Performance SW software v. 3.00 (Polar Electro, Oy, Finland).

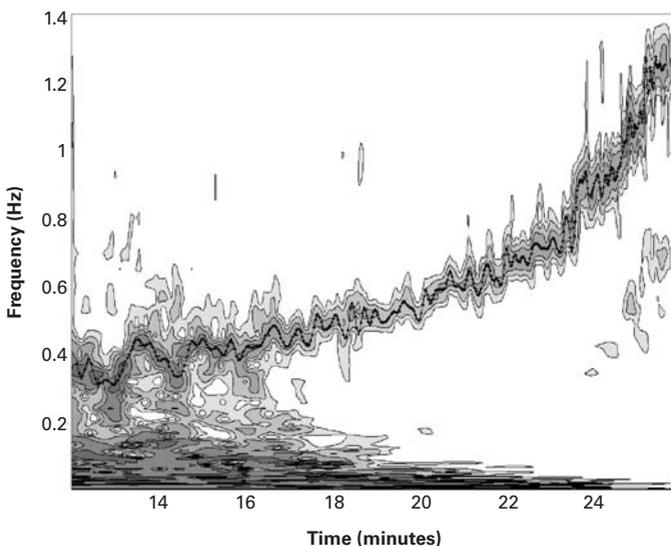


Fig. 1. Contours of the wavelet coefficients of the heart rate variability, showing the changes in the frequency components with time, obtained using a Morlet base function where $\omega = 20$. The x-axis represents time in minutes, with frequency in Hz on the y-axis. Coefficients below a certain value have been eliminated in order to improve the readability of the spectrogram. The line of points show respiratory frequency values in Hz.

Data analysis

The cardiac signal was examined by analyzing the intervals between each beat; this provided the HRV. It is well known that, during incremental load tests, the HRV decreases with increasing workload. A DWT, with a Daubechies (Db8) type base function²³, was initially used to eliminate the trend of the signal over time. A linear interpolation was then applied to the remaining signal in order to obtain a uniformly sampling. Finally, the digital RR signal was subjected to CWT using a Morlet type base function²⁴ with $\omega = 20$, which provided good quality frequency resolution. Figure 1 shows the spectrogram using a contour line diagram, in which we can see the changes in the frequency of HRV as the exercise progresses.

In order to validate both the chosen interpolation and the resulting spectrogram, we have superimposed, in figure 1, the breathing frequency (B_r) in Hz, which was obtained from the gas analyzer. It can be observed how B_r and the peaks of the HF-VHF band of the HRV signal become synchronized during the course of the exercises. The analysis was performed using Matlab software (Mathworks Inc., Natick, MA, USA).

Identification of the aerobic-anaerobic transition phase via the analysis of gas exchange variables

Gas exchange data were analyzed using the visual identification method of Wasserman²⁵. This method relates V_E/VCO_2 (ventilatory equivalent CO₂), V_E/VO_2 (ventilatory equivalent O₂), $PETCO_2$ (end-tidal partial pressure CO₂), and $PETO_2$ (end-tidal partial pressure O₂) to the load in order to detect the aerobic-anaerobic transition phase^{26,27}. The combination of several methods, however, is more reliable for the determination of VT_1 and VT_2 ; thus, the procedure described by Gaskill et al was followed². Three independent, blinded observers determined these thresholds (fig. 2, upper right and lower left and right).

Identification of the aerobic-anaerobic transition by wavelet analysis of the heart rate variability

This procedure required the calculation of:

- 1) The evolution of frequency peaks of the HRV HF-VHF band (f_p). The values of f_p were obtained from the spectrogram, taking the value of the frequency that corresponds to the local maximum value of the wavelet coefficients (equivalent to the maximum spectral density) in the HF-VHF band at any time during the test. The aerobic and anaerobic thresholds were determined on the basis of the changes in the values of f_p in the test. The aerobic threshold, ($f_p T_1$), was taken as the first inflexion of the kinetics of the f_p slope, and the anaerobic threshold, ($f_p T_2$), as the second inflexion (fig. 2 upper left).

- 2) The evolution of the product of the HF-VHF spectral energy value by f_p (PSf_p). PSf_p was found useful by Cottin et al^{17,19} for identifying these thresholds. This variable decreased with load until reaching a minimum value (fig. 2 upper left), i.e., the first inflexion point representing the aerobic threshold ($PSf_p T_1$); it then remained stable until it started to show a moderate increase, i.e., the second inflexion point representing the anaerobic threshold ($PSf_p T_2$).

Statistical analysis

The paired Student's t-test was used to compare the values for the aerobic and anaerobic thresholds determined by the analysis of gas exchange

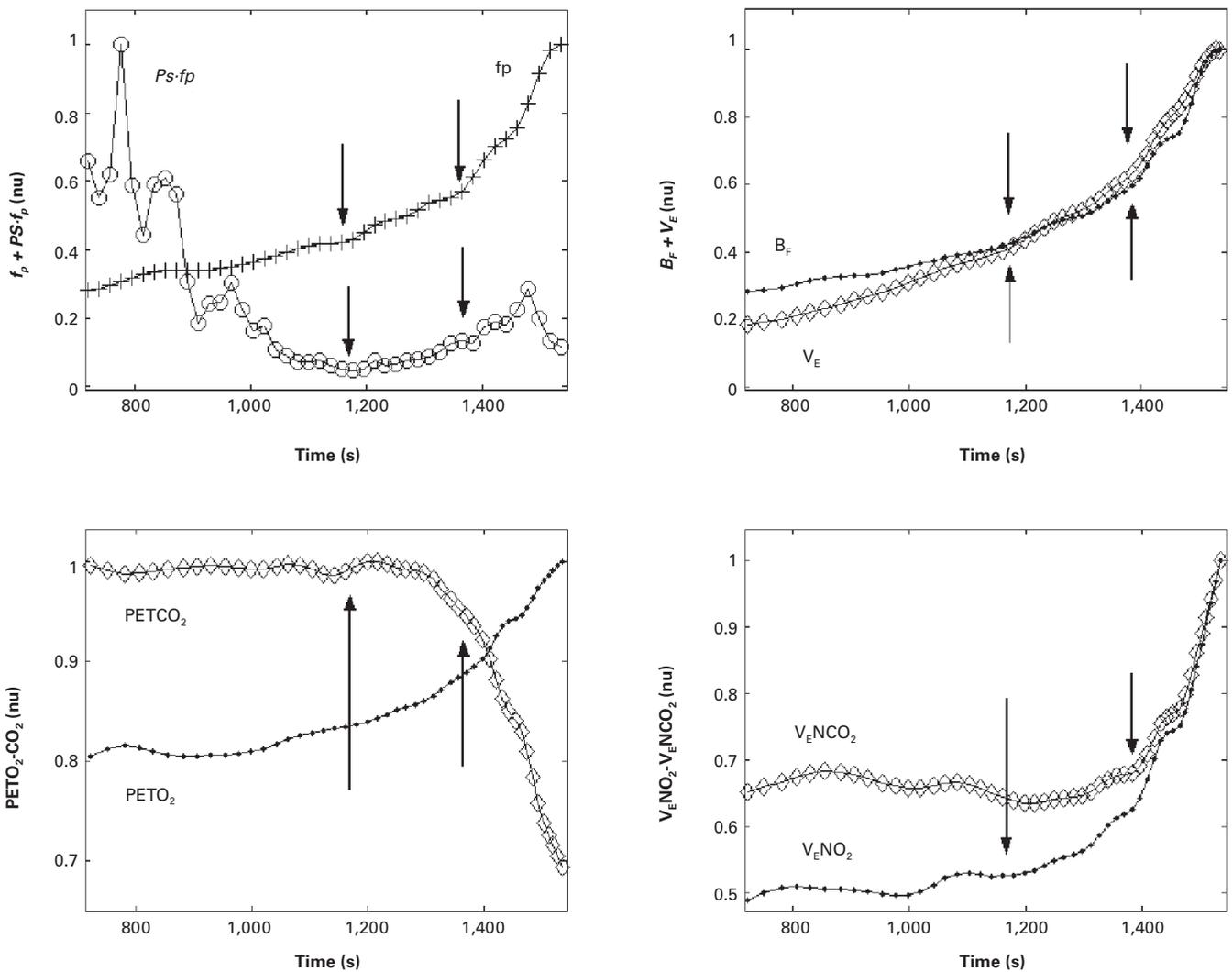


Fig. 2. Upper left: graph showing the behavior of f_p and $PS \cdot f_p$ against time during the incremental load test. Upper right: graph showing the kinetics of B_f and V_E (see abbreviations) against time. Lower left: graph showing the kinetics of $PETO_2$ and $PETCO_2$. Lower right: graph showing the kinetics of V_E/VO_2 and V_E/VCO_2 (see abbreviations) against time. The values of all variables were normalized; the last three graphs show VT_1 and VT_2 .

variables and the wavelet transformation of HVR. Pearson product moment correlation was used to evaluate the association between gas analyzer procedures and HRV methods. The significance level was set at $p < 0.05$. The degree of agreement between the two methods was determined using Bland-Altman plots²⁸.

Results

Table 1 shows the anthropometric and baseline characteristics (mean \pm standard deviation [SD]) of the study subjects and the values of their physiological variables. It is clear that the subjects, in spite of their youth, displayed a morpho-functional profile close to that of an experienced cyclist of the senior category.

Figure 1 shows the wavelet coefficients of the HRV of one of the subjects, in which we can observe a typical behavior of an incremental test. The figure shows the changes in the frequency components with time. The x-axis represents time in minutes, while the y-axis represents frequency in Hz. Coefficients below a certain value have been eliminated in order to improve the readability of the spectrogram. The dotted line

superimposed on the frequency of the HF-VHF band represents values of B_f (in Hz) obtained from the gas analyzer. It should be noted that the two signals are synchronized, which may be taken as an indicator of the adequacy of the wavelet transform method.

Table 2 compares the values of the aerobic and anaerobic thresholds obtained using the different gaseous exchange variables (B_f , ventilatory flow [V_E], $PETO_2$ and $PETCO_2$, V_E/VO_2 and V_E/VCO_2) and those obtained

Table 2
t-test comparisons of the thresholds determined by WTC analysis of HRV (from f_p) and the ventilatory method (in seconds)

VT_1	Mean \pm SD	t-test	p	VT_2	Mean \pm SD	t-test	p
B_f	1,077 \pm 59	0.76	0.47	B_f	1,250 \pm 63	-1.06	0.33
$f_p T_1$	1,073 \pm 58			$f_p T_2$	1,260 \pm 59		
V_E	1,071 \pm 60	-0.46	0.66	V_E	1,251 \pm 61	-1.39	0.21
$f_p T_1$	1,073 \pm 58			$f_p T_2$	1,260 \pm 59		
$PETO_2-CO_2$	1,070 \pm 58	-0.89	0.4	$PETO_2-CO_2$	1,249 \pm 61	-1.15	0.29
$f_p T_1$	1,073 \pm 58			$f_p T_2$	1,260 \pm 59		
V_E/VO_2-CO_2	1,077 \pm 57	0.53	0.59	V_E/VO_2-CO_2	1,251 \pm 57	-1.17	0.28
$f_p T_1$	1,073 \pm 58			$f_p T_2$	1,260 \pm 59		

HRT: heart rate variability; SD: standard deviation; WTC: wavelet transform analysis.

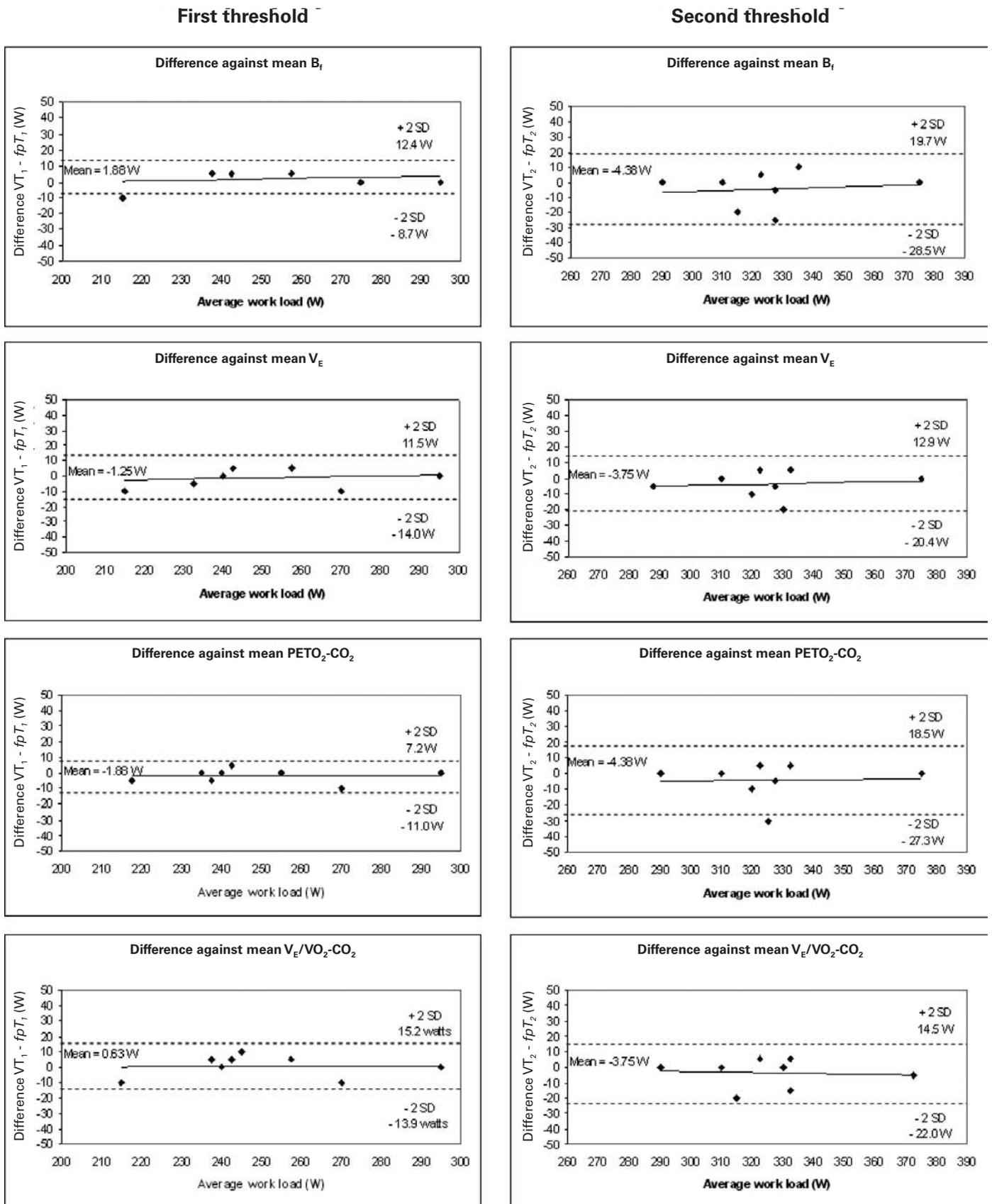


Fig. 3. Bland-Altman plots: differences between the mean threshold results determined using f_p and the ventilatory method plotted against the average threshold work load (W). Left: aerobic threshold determined using f_p , compared with that detected using B_i , V_E , $PETO_2-CO_2$ and V_E/VO_2-CO_2 (from above to below). Right: anaerobic threshold determined using f_p , compared with that determined using B_i , V_E , $PETO_2-CO_2$ and V_E/VO_2-CO_2 (form above to below). Each graph shows the means of the differences and the upper and lower limits of agreement (mean difference \pm twice the standard deviation [SD]).

First threshold

Second threshold

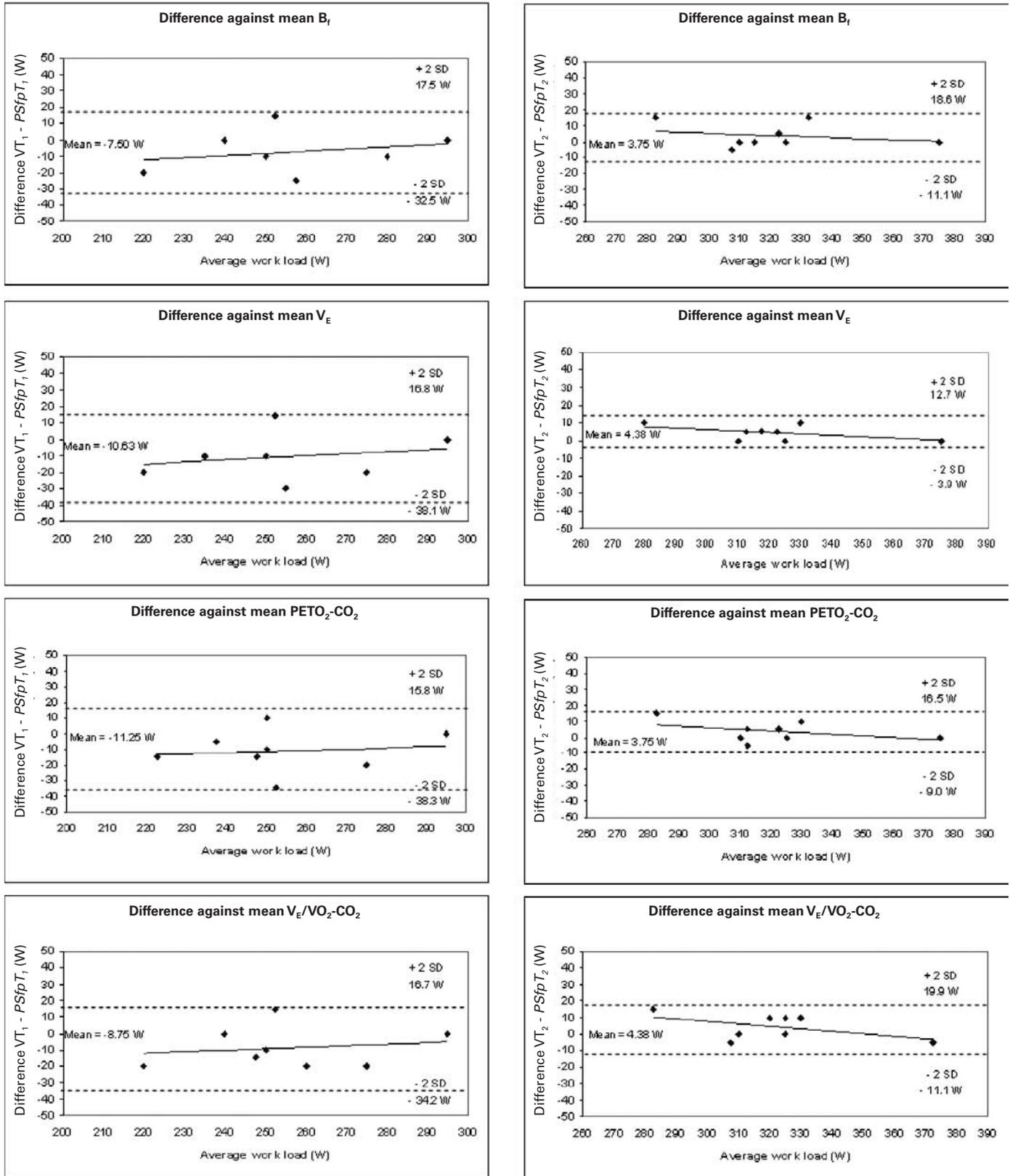


Fig. 4. Bland-Altman plots: differences between the mean threshold results determined by PSf_p and the ventilatory methods plotted against the average threshold work load (W). Left: aerobic threshold determined using PSf_p compared with that detected using B_i , V_E , $PETO_2-CO_2$ and V_E/VO_2-CO_2 (from above to below). Right: anaerobic threshold determined using PSf_p compared with that determined using B_i , V_E , $PETO_2-CO_2$ and V_E/VO_2-CO_2 (from above to below). Each graph shows the means of the differences and the upper and lower limits of agreement (mean difference \pm twice the standard deviation [SD]).

Tabla 3
t-test comparisons of the thresholds determined by WTC analysis of HRV (from PSf_p) and the ventilatory method (in seconds)

VT ₁	Mean ± SD	t-test	p	VT ₂	Mean ± SD	t-test	p
B _f	1,077 ± 59	-1.67	0.14	B _f	1,250 ± 63	1.43	0.2
$PSf_p T_1$	1,096 ± 55			$PSf_p T_2$	1,240 ± 67		
V _E	1,071 ± 60	-2.11	0.07	V _E	1,251 ± 61	2.43	0.05
$PSf_p T_1$	1,096 ± 55			$PSf_p T_2$	1,240 ± 67		
PET _{O₂} -CO ₂	1,070 ± 58	-2.20	0.06	PET _{O₂} -CO ₂	1,249 ± 61	-1.59	0.16
$PSf_p T_1$	1,096 ± 55			$PSf_p T_2$	1,240 ± 67		
V _E /VO ₂ -CO ₂	1,077 ± 57	-1.89	0.10	V _E /VO ₂ -CO ₂	1,251 ± 57	-1.55	0.16
$PSf_p T_1$	1,096 ± 55			$PSf_p T_2$	1,240 ± 67		

HRT: heart rate variability; SD: standard deviation; WTC: wavelet transform analysis.

using f_p . No significant differences were found between the results for VT₁ and $f_p T_1$ or VT₂ and $f_p T_2$. Table 3 compares the threshold values (in seconds) obtained using the same gas exchange variables and those obtained using PSf_p . No significant differences were found between the results for VT₁ and $PSf_p T_1$ or VT₂ and $PSf_p T_2$.

Figure 2 shows the behavior of f_p and PSf_p and several gas exchange variables against time during the incremental load test, as well as changes in the ventilatory parameters used for threshold determinations (B_p, V_E, PET_{O₂} and PET_{CO₂}, V_E/VO₂ and V_E/VCO₂). The points at which VT₁ and VT₂ were found are shown by arrows.

Figure 3 shows the Bland-Altman plots for the analysis of agreement between VT₁ and $f_p T_1$, and VT₂ and $f_p T_2$; the mean differences were 5.9 and 10.2 W, respectively. The agreement for the first threshold was thus slightly better than for the second.

Figure 4 shows the same results for PSf_p ; the mean differences between VT₁ and $PSf_p T_1$, and VT₂ and $PSf_p T_2$, were 13.1 and 6.4 W respectively. The agreements for both thresholds were within acceptable limits, with that for the second threshold slightly better than for the first.

Discussion

The present results show that there are no significant differences between the aerobic and anaerobic thresholds identified using either gaseous exchange variables or the WTC of HRV. The behavior of the HF-VHF band, in terms of both its spectral power and peaks, when these are measured by means of WTA, is therefore a good tool for detecting the aerobic-anaerobic transition phase and its thresholds. In agreement with other authors^{17,19,29}, the validity of using the HRV as an inexpensive, non-invasive method for determining these thresholds is confirmed.

The results show the close coordination between breathing and heart rhythm (sinorespiratory arrhythmia). VT₂ correlates well with the anaerobic threshold determined by measuring the blood lactate concentration²⁶. However, several authors have questioned whether ventilatory thresholds reflect what happens at the blood or muscle level^{27,30,31}. What is beyond doubt, however, is the practical nature of non-invasive procedures, and the need for studies to demonstrate their validity^{17,19}.

With regards to the load, PSf_p behaves in a similar manner to that of the raw value of the spectral power measured by means of CWT in the HF-VHF band, although it accentuates the points of inflexion of this signal. In exercise-until-exhaustion tests, the spectral power decreases with the load until it reaches a minimum when the load is approximately 60% of its maximum value^{32,33}. After this point, the HF-VHF power spectrum shows moderate increments, marking the anaerobic threshold^{9,17,19}.

As B_f and V_E, f_p showed a increase with three inflexions points. It should be remembered that f_p is related to changes in baroreflex activity induced by mechanical respiratory effects^{29,34}.

No significant differences were found between the means of the thresholds determined by HRV analysis (involving the variables f_p and PSf_p) and VT₁ and VT₂ determined using B_p, V_E, PET_{O₂}-CO₂ or V_E/VO₂-VCO₂. The results display a high correlation between the two HRV methods proposed and the gas analysis methods. The differences between the two methods are not statistically significant at the $p < 0.05$ level.

According to our results, when comparing thresholds obtained from f_p to those from are compared with the ventilation-based methods, the agreement is closer for the first threshold (aerobic) than for the second (anaerobic). The method proposed here (f_p) tends to delay the second threshold (fig. 3). The SD of the differences in the first threshold was 5.9 W, while for the second threshold it rose to 10.27 W. The mean differences for the first threshold ranged from 0.63 to 1.88 W, while for the second threshold the range was 3.75 to 4.38 W.

However, when the results produced by the PSf_p method are compared to those of the ventilation-based methods, there is a closer agreement for the second than for the first threshold. In this case, the results indicate that the proposed method tends to delay the first threshold (fig. 4). The SD of the differences in the first threshold was 13.15 W, while for the second threshold it fell to 6.45 W. The mean differences for the first threshold ranged from 7.50 to 11.25 W, while for the second threshold the range was 3.75 to 4.38 W.

The present results show that the WT analysis of HRV and the standard gas exchange methodologies produced identical measurements of aerobic and anaerobic thresholds. When the comparison variable used in the wavelet analysis was f_p , close agreement was observed with the results of gas exchange variable analysis in terms of the aerobic threshold; the relationship was less strong for the anaerobic threshold. When the comparison variable was PSf_p , the relationship between the methodologies was again within the acceptable range, although this time it was stronger in terms of the anaerobic threshold.

In conclusion, the use of cardiometers seems to be a valid method for capturing the cardiac signal and its treatment by CWT; moreover, it is also inexpensive, non-aggressive and non-invasive for determining the aerobic-anaerobic transition phase.

References

1. Svedahl K, MacIntosh BR. Anaerobic threshold: the concept and methods of measurement. Can J Appl Physiol. 2003;28:299-323.
2. Gaskill SE, Ruby BC, Walker AJ, Sanchez OA, Serfass RC, Leon AS. Validity and reliability of combining three methods to determine ventilatory threshold. Med Sci Sports Exerc. 2001;33:1841-8.
3. Hofmann P, Bunc V, Leitner H, Pokan R, Gaisl G. Heart rate threshold related to lactate turn point and steady state exercise on a cycle ergometer. Eur J Appl Physiol. 1994;69:132-9.
4. Conconi F, Ferrari M, Ziglio PG, Droghetti P, Codeca L. Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners. J Appl Physiol. 1982;52:869-73.
5. Droghetti P, Borsetto C, Casoni I, Cellini M, Ferrari M, Paolini AR, et al. Non-invasive determination of the anaerobic threshold in canoeing, cross-country skiing, cycling, roller, and iceskating, rowing, and walking. Eur J Appl Physiol. 1985;53:299-303.
6. Ribeiro TF, Gomes VR, Moura MSA, Maraes VRFS, Catai AM, Travelin LC, et al. Estudo do limiar de anaerobiose em mulheres sedentárias durante esforço físico dinâmico. XIII Reunião Anual da FESBE; 1998; Caxambu-MG. Anais da XIII Reunião Anual da FESBE; 1998. v. 01. p. 258.
7. Alonso DO, Forjaz CLM, Rezende LO, Braga AMFW, Barreto ACP, Negrão CE, et al. Comportamento da frequência cardíaca e da sua variabilidade du-

- rante as diferentes fases do exercício progressivo máximo. *Arq Bras Cardiol.* 1998;71:787-92.
8. Lima JRP, Kiss MAP. Limiar de variabilidade da frequência cardíaca. *Rev Bras Ativ Fis Saúde.* 1999;9:29-38.
 9. Anosov O, Patzak A, Kononovich Y, Persson PB. High-frequency oscillations of the heart rate during ramp load reflect the human anaerobic threshold. *Eur J Appl Physiol.* 2000;83:388-94.
 10. Sakabe DI, Ferreira V, Ribeiro TF, Azevedo GD, Milan LA, Catai AM, et al. Use of semiparametric model for the analysis of heart rate variability in order to determine the anaerobic threshold of middle aged men and menopausal women receiving or not hormonal replacement therapy. 13th Annual Meeting of the North American Menopause Society (NAMS). Actas: 94. Chicago, 2002.
 11. Marães VRFS, Teixeira LCA, Gallo L Jr, Catai AM, Oliveira L, Milan LA, et al. Determinação e validação do limiar de anaerbiose a partir de métodos de análise da frequência cardíaca e de sua variabilidade. *Rev Soc Cardiol Estado de São Paulo.* 2003;13 Suppl 4:1-16.
 12. Teixeira LCA. Análises do padrão do resposta da frequência cardíaca pelos métodos de series temporais e semiparamétrico e de sua variabilidade na determinação do limiar do anaerbiose. Tesis. Universidade de São Paulo, Brasil, 2003.
 13. Silva FMHSP, Silva AC, Murta LO, Lavrador MAS, Maraes VRFS, Moura MS, et al. Identification of anaerobic threshold during dynamic exercise in healthy men using Kolmogorov-Sinai Entropy. *Comp Cardiol.* 2005;32:731-4.
 14. Marães VRFS, Silva E, Catai AM, Novais LD, Moura MAS, Oliveira L, et al. Identification of anaerobic threshold using heart rate response during dynamic exercise. *Braz J Med Biol Res.* 2005;38(5):731-5.
 15. Brunetto AF, Moreira B, Tesini B, Müller D, Pinto D. Limiar ventilatório e variabilidade da frequência cardíaca em adolescentes. *Rev Bras Med Esporte.* 2005;11(1):22-7.
 16. Duarte L. Comparação entre diferentes metodologias para detecção do limiar anaerbiose durante exercício físico em cicloergômetro de homens saudáveis e com infarto do miocárdio. Tesis. Universidad Federal de São Carlos, Brasil, 2006.
 17. Cottin F, Lepretre PM, Lopes P, Papelier Y, Medigue C, Billat V. Assessment of ventilatory thresholds from heart rate variability in well-trained subjects during cycling. *Int J Sports Med.* 2006;27:959-67.
 18. Buchheit M, Solano R, Millet GP. Assessment of ventilatory thresholds from heart rate variability analysis during maximal field running exercise: is the method as accurate in young people as in adults? 4th Journées Internationales des Sciences du Sport. INSEPS. Paris (Francia), 2006.
 19. Cottin F, Medigue C, Lopes P, Lepretre PM, Heubert R, Billat V. Ventilatory thresholds assessment from heart rate variability during an incremental exhaustive running test. *Int J Sports Med.* 2007;28:287-94.
 20. Cottin F, Medigue C, Lepretre PM, Papelier Y, Koralsztein JP, Billat V. Heart rate variability during exercise performed below and above ventilatory threshold. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36:594-600.
 21. Grinker JA. Body composition and physical performance. Washington: D.C. National Academy Press; 1992.
 22. Kingsley M, Lewis MJ, Marson RE. Comparison of Polar 810s and an ambulatory ECG system for RR interval measurement during progressive exercise. *Int J Sports Med.* 2005;26:39-44.
 23. Percival DB, Walden A. Wavelets methods for time series analysis. Cambridge: Cambridge University Press; 2000.
 24. Teich MC, Heneghan C, Lowen SB, Turcott RG. Wavelets in Medicine and Biology. Boca Raton: CRC Pres; 1996.
 25. Wasserman K, Hansen JE, Sue D, Whipp YBJ, Casaburi R. Principles of exercise testing and interpretation. 2nd. ed. Philadelphia: Lea & Febiger; 1994.
 26. Aunola S, Rusko H. Aerobic and anaerobic thresholds determined from venous lactate or from ventilation and gas exchange in relation to muscle fiber composition. *Int J Sports Med.* 1986;7:161-6.
 27. Davis JA. Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. *Med Sci Sports Exerc.* 1985;17(1):6-21.
 28. Bland JM, Altman DJ. Regression analysis. *Lancet.* 1986;19:908-9.
 29. Blain G, Meste O, Bouchard T, Bermon S. (2005). Assessment of ventilatory thresholds during graded and maximal exercise test using time varying analysis of respiratory sinus arrhythmia. *Br J Sports Med.* 2005;39(7):448-52; discussion 448-452.
 30. Brooks GA. Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. *Med Sci Sports Exerc.* 1985;17:22-34.
 31. Simon J, Young JL, Gutin B, Blood DK, Case RB. Lactate accumulation relative to the anaerobic and respiratory compensation thresholds. *J Appl Physiol.* 1983;54:13-7.
 32. Macor F, Fagard R, Amery A. Power spectral analysis of RR interval and blood pressure short-term variability at rest and during dynamic exercise: comparison between cyclists and controls. *Int J Sports Med.* 1996;17:175-81.
 33. Tulppo MP, Makikallio TH, Takala TE, Seppanen T, Huikuri HV. Quantitative beat-to-beat analysis of heart rate dynamics during exercise. *Am J Physiol.* 1996;271:244-52.
 34. Cottin F, Papelier Y, Escourrou P. Effects of exercise load and breathing frequency on heart rate and blood pressure variability during dynamic exercise. *Int J Sports Med.* 1999;20:232-8.



Original

Análisis del equilibrio estático en sujetos sanos mediante el cálculo de la entropía muestral

J. Algaba del Castillo^a, B. de la Cruz Torres^b, J. Naranjo Orellana^b, R. A. Centeno Prada^b y J. de D. Beas Jiménez^b

^aDepartamento de Podología. Universidad de Sevilla. Sevilla. España.

^bCentro Andaluz de Medicina del Deporte. Sevilla. España.

Historia del artículo:

Recibido el 1 de septiembre de 2008

Aceptado el 7 de octubre de 2008

Palabras clave:

Dinámicas no lineales.

Entropía.

Equilibrio.

Key words:

Non-linear dynamics.

Entropy.

Equilibrium.

RESUMEN

Objetivo. El objetivo del presente trabajo es determinar los valores de la entropía muestral (SampEn) en el análisis del equilibrio estático en individuos sanos.

Método. Hemos estudiado un total de 12 sujetos sanos (5 hombres y 7 mujeres), entre 18 y 25 años, a los que se registró la proyección del centro de gravedad sobre una plataforma de fuerza en bipedestación estática relajada durante una prueba tipo Romberg con una duración de 60 segundos y una frecuencia de muestreo de 60 Hz; se obtuvieron 3.600 datos por cada registro. La prueba se realizó con los ojos abiertos (ROA) y cerrados (ROC). Se analizó el desplazamiento total de la señal, la dispersión y el desplazamiento de la señal tanto en sentido medio-lateral (eje X) como antero-posterior (eje Y), el área total de barrida y la fuerza máxima aplicada en ambos ejes. De las series originales correspondientes a las coordenadas X e Y se calculó la SampEn.

Resultados. Todos los parámetros lineales son mayores cuando se miden con los ojos cerrados, aunque esta diferencia sólo resulta significativa en el área de barrida y los valores relacionados con el eje Y. Los valores de SampEn en el eje X son $1,53 \pm 0,39$ (ROA) y $1,53 \pm 0,53$ (ROC), y en el eje Y, $1,37 \pm 0,42$ (ROA) y $1,06 \pm 0,57$ (ROC).

Conclusiones. El comportamiento del centro de gravedad en el eje Y es más predecible que en el eje X y mucho más con los ojos cerrados. En el eje X el valor de la entropía nos indica que el sistema mantiene un alto grado de complejidad que se mantiene inmutable, con independencia de que los ojos estén abiertos o cerrados.

© 2008 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

ABSTRACT

Analysis of static equilibrium in healthy subjects by the calculation of sample entropy

Purpose. The aim of this study was to determine the sample entropy values (SampEn) during the analysis of static equilibrium in healthy people.

Methods. We have studied 12 healthy subjects (5 males and 7 females) 18 to 25 years old. The gravity center projection over a dynamometric platform was recorded with both open and closed eyes while in a relaxed and static bipedal position. The test duration was 60 seconds with a sampling frequency of 60 Hz, 3,600 points being obtained for each recording. We analyzed total displacement, dispersion and displacement of the signal on X and Y axis, total swept area and maximal force in each axis. SampEn was calculated from the original X and Y series.

Results. All the linear parameters are higher when they are recorded with closed eyes, although the difference is significant only for the total swept area and the values related to Y axis. SampEn values for X axis are 1.53 ± 0.39 (open eyes) and 1.53 ± 0.53 (closed eyes). The values are 1.37 ± 0.42 and 1.06 ± 0.57 , respectively, for the Y axis.

Conclusion. The gravity center performance over Y axis is more predictable than over the X one, this being even greater with closed eyes. The entropy value in X axis indicates that the system maintains high complexity and that it remains constant regardless of whether the eyes are open or closed.

© 2008 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

Correspondencia:

J. Naranjo Orellana.

Centro Andaluz de Medicina del Deporte.

Glorieta Beatriz Manchón, s/n.

41092 Sevilla. España.

Correo electrónico:

jose.naranjo@juntadeandalucia.es

Introducción

Estamos habituados a considerar dos tipos de fenómenos en la Naturaleza: los que obedecen a leyes físicas conocidas y son absolutamente previsibles, y los que son simplemente aleatorios (y por tanto impredecibles). Nos sentimos cómodos con las relaciones lineales entre magnitudes (por ejemplo: cuanto mayor es la masa de un objeto, mayor es la fuerza con que la Tierra lo atrae, es decir, su peso) y con el pensamiento de que conocidas todas las variables de un sistema podemos conocer el estado de ese sistema en cualquier instante pasado o futuro. Sin embargo, las señales fisiológicas presentan fluctuaciones complejas e irregulares que no pueden ser analizadas con técnicas estadísticas convencionales, pues proporcionan una información muy limitada de su comportamiento. La teoría del caos determinista dio lugar al desarrollo de métodos matemáticos que se han mostrado útiles en el estudio de la complejidad de señales biológicas, entre los que se incluyen el análisis de la dimensión fractal¹, el exponente de Lyapunov^{2,3}, la entropía⁴ y otros.

La entropía cuantifica la regularidad de un sistema, de forma que cuanto más predecible es una serie, menor es el valor de la entropía. Así, hay trabajos que muestran que con el envejecimiento se reduce la entropía, al igual que los sistemas patológicos muestran entropías menores que los sistemas sanos⁵.

A lo largo del tiempo han ido surgiendo varios modelos matemáticos para calcular la entropía, todos ellos con la misma finalidad: cuantificar la regularidad de una serie temporal. En 1991 Pincus introdujo la entropía aproximada (ApEn)⁶. Teniendo en cuenta que una serie es regular si existen patrones repetitivos en ella, la ApEn refleja la probabilidad de que patrones "similares" no sean seguidos de adicionales observaciones "similares". Una serie de tiempo que contenga muchos patrones repetitivos tendrá un valor pequeño de ApEn, mientras que a una serie menos predecible (es decir, sin patrones repetitivos, poco regular) le corresponderá un valor mayor de ApEn.

Dado que el algoritmo matemático de la ApEn compara cada patrón consigo mismo, sugiere que en una serie temporal hay más semejanza de la que en realidad existe, siendo los resultados muy dependientes de la longitud de la serie. Así surgió la entropía muestral (SampEn)⁷, una modificación de la ApEn, para solventar esta dependencia, con lo que los resultados son más consistentes.

Posteriormente Costa^{8,9} demostró que si en una serie de tiempo discreta construimos nuevas series cuyos términos son promedios de k elementos consecutivos de la serie original (siendo k el orden de la escala), y calculamos el valor de SampEn para cada una de ellas, el valor de SampEn varía cuando consideramos la estructura y organización de la serie a escalas superiores. Definió así la entropía multiescala (MSE).

Desde que se descubrió que el mecanismo implicado en el control locomotor es fundamentalmente complejo y no lineal^{10,11}, tanto la marcha humana como el equilibrio en bipedestación han sido objeto de estudio utilizando herramientas matemáticas provenientes de las teorías del caos determinista, aunque la mayor parte de los trabajos se han centrado en el estudio del envejecimiento y de patologías que afectan a la marcha.

Así, el análisis de la dinámica no lineal ha sido utilizado para investigar las alteraciones de la marcha en la enfermedad de Huntington¹², la esclerosis lateral amiotrófica¹³ o la enfermedad de Parkinson¹⁴, aportando información que podría ser de gran utilidad en el abordaje diagnóstico y terapéutico de estas enfermedades. Por otra parte, trabajos recientes¹⁵ muestran que el estudio de la marcha durante el envejecimiento

utilizando herramientas de análisis no lineal aporta conocimientos sobre aspectos funcionales que habitualmente no se detectan con técnicas convencionales. Así, sabemos que con el envejecimiento existe una pérdida de la complejidad en el patrón de la marcha y que esta pérdida se asocia a una mayor inestabilidad y, por tanto, a un mayor riesgo de caídas^{16,17}.

En cuanto a los métodos de análisis utilizados, los estudios más recientes coinciden en la utilización del exponente de Lyapunov y la ApEn tanto para el análisis de la variabilidad en la marcha¹⁸⁻²¹ como en el equilibrio^{22,23}, siendo el grupo de Costa y Goldberger el único que utiliza la MSE²⁴.

El objetivo del presente trabajo es determinar los valores de la SampEn en el análisis del equilibrio estático en sujetos sanos.

Método

Hemos estudiado un total de 12 sujetos (5 hombres y 7 mujeres), de edades comprendidas entre 18 y 25 años, a los que se realizó una exploración clínica previa para valorar la ausencia de patologías del aparato locomotor tanto en estática como en dinámica.

A todos los sujetos se les interrogó sobre sus antecedentes clínicos personales, con especial interés en aquellas actuaciones terapéuticas y patologías que pudiesen afectar a los sistemas de control del equilibrio.

La exploración realizada incluyó un examen de columna vertebral, caderas, rodillas, tobillos y pies, así como un análisis estático y dinámico de la marcha en plataforma podo-barométrica con el sistema CBS-Scan-Graf/Podocomputer®.

Tras una breve explicación acerca del procedimiento a seguir y con el sujeto en bipedestación, se procedió a registrar la proyección del centro de gravedad sobre una plataforma de fuerza Dinascan® (Instituto de Biomecánica de Valencia [IBV]) de 600 x 370 mm de área activa, utilizando el sistema de valoración del equilibrio NedSVE® (IBV).

La fuerza ejercida sobre la plataforma se reparte entre 4 captadores extensiométricos articulados que generan las correspondientes señales electrónicas en función de la carga asumida por cada uno de ellos. A partir de las ecuaciones de equilibrio estático de la placa superior de la plataforma el programa realiza el cálculo de las tres componentes de la fuerza de reacción, las coordenadas del punto de aplicación de la fuerza vertical resultante y el momento de torsión en cada instante de tiempo.

Cada sujeto se situó sobre la plataforma en bipedestación estática relajada, con los pies descalzos y haciéndolos coincidir con señales marcadas en la superficie de la plataforma para que la distancia se mantuviera constante. Los brazos quedaban extendidos y paralelos al cuerpo y esta posición se mantuvo durante la realización de todas las pruebas. En estas condiciones se efectuó una prueba tipo Romberg modificada con una duración de 60 segundos y una frecuencia de muestreo de 60 Hz; se obtuvieron 3.600 datos por cada registro. La prueba constaba de dos ensayos, uno con los ojos abiertos (ROA) manteniendo la mirada en un punto lejano, y otro con los ojos cerrados (ROC). En ambos casos el sujeto debía permanecer inmóvil. De no ser así se consideraba la prueba no válida y se repetía hasta completar los 60 segundos sin realizar movimiento alguno.

Durante cada prueba se visualizaban en tiempo real las fuerzas ejercidas sobre la plataforma en tres direcciones, así como la posición del centro de presiones. En la pantalla del ordenador se disponía de una vista superior de la plataforma en la que se representa en tiempo real la evolución del centro de presiones, las coordenadas X e Y de dicho centro

y los valores en Newton de los tres componentes de la fuerza (Fz: vertical; Fx: medial-lateral; Fy: antero-posterior).

Los datos obtenidos y tabulados para el análisis fueron: el desplazamiento total de la señal, la dispersión y el desplazamiento de la señal tanto en sentido medio-lateral (eje X) como antero-posterior (eje Y), el área total de barrida y la fuerza máxima aplicada en ambos ejes.

Por otra parte, las series originales de 3.600 valores correspondientes a las coordenadas X e Y fueron utilizadas para el cálculo de la SampEn, definida como el negativo del logaritmo natural de la probabilidad condicional de que dos patrones similares de m puntos permanezcan semejantes (es decir, distancia entre ellos menor que r) si incrementamos el número de puntos a $m+1$.

El cálculo se realiza de la siguiente forma:

Dada una secuencia de N medidas, $U_N = \{u_1, u_2, \dots, u_N\}$, sean $x_m(i)$ y $x_m(j)$ dos patrones de U_N , los dos de longitud m . En $x_m(i)$ el patrón comienza en el elemento u_i de la serie y en $x_m(j)$ en el elemento u_j . Se define la distancia $d[x_m(i), x_m(j)]$ entre dos patrones $x_m(i)$ y $x_m(j)$ como la diferencia máxima entre sus respectivos componentes, de forma que los dos patrones serán similares si $d[x_m(i), x_m(j)] < r$, siendo r el parámetro que define el criterio de similitud.

Consideramos ahora X_m como el conjunto de todos los patrones de longitud m dentro de U_N (es decir, $x_m(1), x_m(2), \dots, x_m(N-m+1)$). Dado un patrón $x_m(i)$ se cuenta el número de patrones $x_m(j)$, donde $1 \leq j \leq N-m$, tales que $d[x_m(i), x_m(j)] < r$. A ese número lo denominamos B_i . Así, para $1 \leq i \leq N-m$:

$$B_m(i) = \frac{B_i}{N-m}$$

La probabilidad de que dos patrones de m puntos coincidan será:

$$B_m = \frac{1}{N-m} \sum_{i=1}^{N-m} B_m(i)$$

Repetimos el procedimiento para $m+1$ y obtenemos $A_m(i)$ y A_m . Definimos SampEn como:

$$\text{SampEn}(m, r) = \lim_{N \rightarrow \infty} \left\{ - \ln \left[\frac{A_m}{B_m} \right] \right\}$$

N es finito, luego resulta:

$$\text{SampEn}(m, r) = - \ln \left[\frac{A_m}{B_m} \right]$$

La elección de m y r es fundamental para el cálculo de SampEn. Pincus⁶ indica que los valores idóneos son $m = 1$ ó $m = 2$ (preferiblemente $m = 2$) y r entre el 10 y el 25% de la desviación estándar (DE) de la serie temporal. Esto es así porque r ha de ser como mínimo mayor que el ruido que contamina la señal y además no puede tener un valor muy elevado, pues se perdería mucha información de la señal que estamos valorando. En este trabajo hemos optado por $m = 2$ y $r = 0,25$ DE.

Todos los datos se muestran como media y DE. Se realizó una prueba t de Student para muestras pareadas entre la situación de ojos abiertos y ojos cerrados, considerando significativo un valor de p menor de 0,05.

Todos los sujetos fueron informados verbalmente del contenido de la investigación y dieron su consentimiento por escrito para participar en la misma.

El protocolo de estudio fue aprobado por el Comité de Ética del Centro Andaluz de Medicina del Deporte.

Todas las pruebas fueron realizadas en el área de Fisiología del Centro Andaluz de Medicina del Deporte en Sevilla por los mismos exploradores.

Tabla 1

Valores de desplazamiento, dispersión, fuerza y área de barrida en sentido antero-posterior y medio-lateral

	Ojos abiertos	Ojos cerrados	p*
Desplazamiento total (mm)	20,02 ± 8,47	24,45 ± 10,62	NS
Dispersión ML (mm)	1,44 ± 0,61	1,87 ± 1,12	NS
Dispersión AP (mm)	3,09 ± 0,99	3,94 ± 1,21	p < 0,05
Desplazamiento ML (mm)	8,68 ± 3,28	11,13 ± 3,95	NS
Desplazamiento AP (mm)	17,27 ± 3,94	23,78 ± 7,78	p < 0,05
Área de barrido (mm ²)	17,33 ± 10,38	28,02 ± 17,15	p < 0,05
Fuerza máxima ML (N)	3 ± 0,99	3,31 ± 0,87	NS
Fuerza máxima AP (N)	3,11 ± 1,02	4,22 ± 1,12	p < 0,05

*Grado de significación entre ojos abiertos y ojos cerrados. AP: antero-posterior; ML: medio-lateral; NS: no significativa.

Tabla 2

Valores de la entropía muestral para ambos ejes

	Ojos abiertos	Ojos cerrados
SampEn eje X	1,53 ± 0,39	1,53 ± 0,53
SampEn eje Y	1,37 ± 0,42	1,06 ± 0,57*

*Es significativa ($p < 0,05$) la diferencia de la entropía muestral en el eje Y entre ojos abiertos y cerrados y entre ambos ejes en la situación de ojos cerrados. SampEn: entropía muestral.

Resultados

La tabla 1 muestra los datos lineales obtenidos por la plataforma de fuerza tanto con ojos abiertos como con ojos cerrados.

En la tabla 2 se recogen los valores de la SampEn en ambas situaciones (ojos abiertos y ojos cerrados).

Discusión

Este estudio aporta información que puede resultar relevante para el análisis del equilibrio humano desde el punto de vista de la dinámica de sistemas complejos.

El análisis no lineal de la marcha está extendiéndose en la literatura científica como un método útil para el estudio del envejecimiento y de algunas patologías. Sin embargo, hay aún muy pocos trabajos que empleen esta metodología en el estudio del equilibrio^{22,23}.

Si efectuamos en nuestros sujetos un análisis convencional del equilibrio mediante datos lineales, podemos observar que todos los parámetros son mayores cuando se miden con los ojos cerrados (tabla 1), aunque esta diferencia sólo resulta significativa en lo que se refiere al área de barrida y a los valores relacionados con el eje Y. Si tenemos en cuenta que estamos estudiando a sujetos jóvenes y sin patología que afecte al equilibrio ni a la bipedestación, debemos aceptar que estos cambios ocurren sin que clínicamente sean perceptibles porque de lo contrario darían lugar a una prueba de Romberg positiva. De hecho, la interpretación clínica convencional de estos cambios podría tener que ver con cierto grado de "inestabilidad" derivado de la supresión de la información visual.

Sin embargo, la utilización de una herramienta de análisis no lineal como la SampEn podría aportar una lectura diferente. Se puede observar (tabla 2) cómo los valores de SampEn muestran un comportamiento diferente en el eje X y en el eje Y, presentando en el primer caso valores prácticamente idénticos tanto con los ojos cerrados como abiertos. En el eje Y los valores de SampEn son menores que en el eje X en ambas situaciones, pero existe un descenso significativo al registrar con los ojos cerrados.

Según los valores de SampEn (tabla 2) debemos concluir que el comportamiento del centro de gravedad en el eje Y es más predecible que en el eje X a pesar de que el análisis lineal (tabla 1) muestra un mayor desplazamiento del centro de masas en sentido antero-posterior (eje Y) al cerrar los ojos, sin apenas cambios en sentido medio-lateral (eje X). En este eje el valor de entropía nos indica que el sistema conserva un alto grado de complejidad que se mantiene inmutable con independencia de que los ojos estén abiertos o cerrados.

En definitiva, el empleo de la SampEn podría aportar nuevas perspectivas en el análisis del equilibrio y podría ser de gran utilidad cuando se valoren situaciones patológicas del aparato locomotor.

Bibliografía

- Katz MJ. Fractals and the analysis of waveforms. *Comput Biol Med.* 1998;18(3):145-56.
- Wolf A, Swift JB, Swinney HL, Vastano JA. Determining Lyapunov exponents from a time series. *Physica D.* 1985;16:285-317.
- Rosenstein MT, Collins JJ, De Luca CJ. A practical method for calculating largest Lyapunov exponents from small data sets. *Physica D.* 1993;65:117-34.
- Pincus SM, Goldberger AL. Physiological time-series analysis: what does regularity quantify? *Am J Physiol.* 1994;266 (4 Pt 2):H1643-56.
- Goldberger AL, Peng CK, Lipsitz LA. What is physiologic complexity and how does it change with aging and disease? *Neurobiol Aging.* 2002; 23(1):23-6.
- Pincus SM. Approximate entropy as a measure of system complexity. *Proc Natl Acad Sci.* 1991;88:2297-301.
- Richman JS, Moorman JR. Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2000;278(6):H2039-49.
- Costa M, Goldberger AL, Peng CK. Multiscale entropy analysis of complex physiologic time series. *Phys Rev Lett.* 2002;89(6):068102.
- Costa M, Goldberger AL, Peng CK. Multiscale entropy analysis of biological signals. *Phys Rev E Stat Nonlin Soft Matter Phys.* 2005;71:(2 Pt 1): 021906.
- Hausdorff JM, Peng CK, Ladin Z, Wei JY, Goldberger AL. Is walking a random walk? Evidence for long range correlations in the stride interval of human gait. *J Appl Physiol.* 1995;78:349-58.
- Hausdorff JM, Purdon PL, Peng CK, Ladin Z, Wei JY, Goldberger AL. Fractal dynamics of human gait: stability of long range correlations in stride interval fluctuations. *J Appl Physiol.* 1996;80:1448-57.
- Hausdorff JM, Mitchell SL, Firtion R, Peng CK, Cudkovic ME, Wei JY, et al. Altered fractal dynamics of gait: reduced stride-interval correlations with aging and Huntington's disease. *J Appl Physiol.* 1997;82(1):262-9.
- Hausdorff JM, Lertratanakul A, Cudkovic ME, Peterson AL, Kaliton D, Goldberger AL. Dynamic markers of altered gait rhythm in amyotrophic lateral sclerosis. *J Appl Physiol.* 2000;88:2045-53.
- Gurevich TY, Groozman GB, Giladi N, Drory VE, Hausdorff JM, Korczyn AD. R-R interval variation in Parkinson's disease and multiple system atrophy. *Acta Neurol Scand.* 2004;109:276-9.
- Stergiou N, Buzzi UH, Kurz MJ, Heide J. Nonlinear tools in human movement. En: Stergiou N, editor. *Innovative analysis of human movement.* Champaign, Illinois: Human Kinetics Publishers; 2004.
- Buzzi UH, Stergiou N, Kurz MJ, Hageman PA, Heide J. Nonlinear dynamics indicates aging affects variability during gait. *Clin Biomech.* 2003;18:435-43.
- Barak Y, Wagenaar RC, Holt KG. Gait characteristics of elderly people with a history of falls: a dynamic approach. *Phys Ther.* 2006;86:1501-10.
- Millar DJ, Stergiou N, Kurz MJ. An improved surrogate method for detecting the presence of chaos in gait. *J Biomech.* 2006;39:2873-6.
- Karmakar CK, Khandoker AH, Begg RK, Palaniswami M, Taylor S. Understanding ageing effects by approximate entropy analysis of gait variability. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2007;2007:1965-8.
- Kurz MJ, Stergiou N. Do horizontal propulsive forces influence the nonlinear structure of locomotion? *J Neuroeng Rehabil.* 2007;4:30.
- Khandoker AH, Palaniswami M, Begg RK. A comparative study on approximate entropy measure and poincaré plot indexes of minimum foot clearance variability in the elderly during walking. *J Neuroeng Rehabil.* 2008;5:4.
- Cavanaugh JT, Guskiewicz KM, Giuliani C, Marshall S, Mercer VS, Stergiou N. Recovery of postural control after cerebral concussion: new insights using approximate entropy. *J Athl Train.* 2006;41(3):305-13.
- Cavanaugh JT, Mercer VS, Stergiou N. Approximate entropy detects the effect of a secondary cognitive task on postural control in healthy young adults: a methodological report. *J Neuroeng Rehabil.* 2007;4:42.
- Costa M, Peng C-K, Goldberger AL, Hausdorff JM. Multiscale entropy analysis of human gait dynamics. *Physica A.* 2003;330:53-60.



Original

Modificaciones espirométricas en una población que se inicia en el buceo con aire comprimido

A. Olea González^a, S. Balanza Galindo^b y M. J. Alcaraz García^c

^aComandante Médico Especialista en Medicina Subacuática e Hiperbárica. Centro de Buceo de la Armada. Cartagena (Murcia). España.

^bEspecialista en Medicina del Trabajo. Sanidad Marítima. Instituto Social de la Marina. Cartagena (Murcia). España.

^cBióloga. Centro de Buceo de la Armada. Universidad de Murcia. Murcia. España.

Historia del artículo:

Recibido el 4 de septiembre de 2008

Aceptado el 8 de octubre de 2008

Palabras clave:

Buceo.

Aire comprimido.

Espirometría.

Función pulmonar.

RESUMEN

Objetivo. Observar las modificaciones espirométricas en una población que se somete por primera vez y de forma continuada al medio hiperbárico empleando aire comprimido.

Métodos. Noventa y dos militares, varones, sanos, que realizan un curso de buceo a 50 metros de profundidad con aire comprimido y de 8 semanas de duración. Los parámetros espirométricos estudiados fueron: capacidad vital forzada (FVC), volumen espiratorio forzado en el primer segundo (FEV1), FEV1/FVC, flujo espiratorio forzado entre el 25 y el 75% de la espiración (FEF 25-75%) y flujo espiratorio forzado entre el 75 y el 85% de la espiración (FEF 75-85%). Utilizamos un espirómetro portátil Vitalograph COMPACT. Se realiza espirometría el primer día de curso y de forma semanal a todos los sujetos.

Resultados. Mientras que la evolución de la FVC no mostró diferencias significativas (110,48 ± 12,13 frente a 110,35 ± 13,15; p = 0,12), los parámetros de flujos mostraron diferencias significativas entre la primera y la última determinación: FEV1 (102,72 ± 12,91 frente a 96,73 ± 15,83; p < 0,001), FEV1/FVC (78,75 ± 7,73 frente a 74,25 ± 9,91; p < 0,001), FEF 25-75% (95,83 ± 22,36 frente a 84,33 ± 18,94; p < 0,001) y FEF 75-85% (105,08 ± 35,86 frente a 86,27 ± 29,44; p < 0,001).

Conclusiones. Se observa una evolución descendente de los parámetros de flujo, que no están vinculados ni a la profundidad ni al tiempo de exposición al ambiente hiperbárico. Entre los factores que pueden explicar esta evolución destacan las características mecánicas del equipo y las características físicas de la mezcla gaseosa.

© 2008 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

ABSTRACT

Spirometric modifications in a population that initiates scuba diving with compressed air

Objective. This study aimed to observe spirometric modifications in a population of scuba diving student who initiated it for the first time and continuously in the hyperbaric setting with compressed air.

Methods. Ninety-two healthy, male, military subjects who were taking an 8-week scuba diving course at 50 meters deep with compressed air were studied. We measured forced vital capacity (FVC), forced expired volume in the 1st second (FEV1), FEV1/FVC, and forced expiratory flow at 25-75% and 75-85% of FVC (FEF 25-75%, FEF 75-85%). Lung function was measured with portable spirometry Vitalograph COMPACT. A pulmonary function test was performed in all subjects on the first day of the course and weekly.

Results. No differences were found in FVC values during the time of the diving course. There were significant differences in the decline of FEV1 (102.72 ± 12.91 and 96.73 ± 15.83; p < 0.001), FEV1/FVC (78.75 ± 7.73 and 74.25 ± 9.91; p < 0.001), FEF 25-75% (95.83 ± 22.36 and 84.33 ± 18.94; p < 0.001) and FEF 75-85% (105.08 ± 35.86 and 86.27 ± 29.44; p < 0.001).

Conclusions. A decreasing evolution of flow parameters, that was not linked to either depth or time of exposure to the hyperbaric setting, was observed. Combined effects of diving equipment and breathing compressed air could contribute to the fall of flow parameters.

© 2008 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

Key words:

Scuba diving.

Compressed air.

Spirometry.

Pulmonary function.

Correspondencia:

A. Olea González.

Centro de Buceo de la Armada.

Estación Naval de la Algameca.

30290 Cartagena Naval. Cartagena. España.

Correo electrónico:

aoleag@fn.mde.es

Introducción

El empleo continuado de las pruebas espirométricas en buceadores ha puesto de manifiesto la existencia de efectos pulmonares crónicos caracterizados por un incremento de la capacidad pulmonar total, descenso de volumen espiratorio forzado en el primer segundo (FEV1)/capacidad vital forzada (FVC) y de parámetros medioespiratorios¹⁻⁵.

Entre los factores responsables de estas afectaciones espirométricas destacan tanto factores inherentes al uso de los equipos de buceo, como factores medioambientales.

Entre los factores relacionados con los equipos de buceo destacamos:

1) La respiración de oxígeno a presiones elevadas, entre 0,4 y 1,7 ata, puede ocasionar alteraciones espirométricas caracterizadas por el descenso de parámetros de capacidad y de flujo⁶⁻⁸.

2) Eliminación pulmonar de las microburbujas de nitrógeno. Estas burbujas se producen en toda inmersión y son eliminadas por vía respiratoria sin causar alteraciones clínicas evidentes⁹⁻¹¹. Sin embargo, en ocasiones puede producirse una situación de insuficiencia respiratoria restrictiva¹² o incluso afectaciones del parénquima pulmonar caracterizadas por: lesiones vasculares, procesos de broncoconstricción y edemas perivasculares y peribronquiales¹³.

3) Características físicas del aire comprimido. Entre ellas destacamos su sequedad, para evitar los procesos de corrosión de las botellas y las altas presiones de almacenaje, llegando en ocasiones hasta los 200 kg/cm². Estas características, asociadas a la anulación de la vía nasal durante el buceo y por tanto a los procesos de humidificación y calentamiento del aire respirado, exponen al buceador a situaciones de limitación de flujos aéreos¹⁴⁻¹⁷.

4) Características mecánicas del equipo de buceo. Los elementos con más implicación pulmonar son el traje de neopreno y el regulador de boca. El traje de neopreno, debido a su reducida distensibilidad y a su fijación sobre el cuerpo del buceador, va a ocasionar un aumento del trabajo respiratorio y una reducción en los procesos de ventilación¹⁸⁻²⁰. El regulador es el elemento que más limitaciones impone al sistema respiratorio ya que debido a su sistema valvular y de conexiones incrementa el espacio muerto, el trabajo respiratorio y la resistencia respiratoria externa^{21,22}. Además, en la fase espiratoria del regulador se encuentra la válvula de exhaustación, en contacto directo con el medio acuático y con la presión medioambiental, y que obliga al buceador a vencer esta pre-

sión externa para exhalar el aire. La acción conjunta de estos factores modifica el patrón respiratorio de tal forma que la espiración pasará a ser un proceso activo^{23,24}.

Entre los factores medioambientales que afectan al buceador destacamos: la presión, la densidad y la temperatura. La presión y la densidad están directamente relacionadas, de tal forma que el aumento de la primera supone un incremento de la segunda; las consecuencias respiratorias del aumento de densidad de la mezcla gaseosa se manifiestan sobre la mecánica respiratoria, produciendo un aumento de la resistencia respiratoria²⁵, y sobre la musculatura respiratoria²⁶. La alta conductividad térmica del agua, asociada a las características físicas de la mezcla gaseosa, incrementan la resistencia de la vía aérea y el trabajo respiratorio²⁷.

El objetivo del presente estudio ha sido valorar, en una población que se somete por primera vez al medio subacuático empleando equipos de buceo con aire comprimido, las modificaciones espirométricas determinando la influencia de factores específicos de los equipos de buceo, medioambientales o individuales.

Métodos

El estudio se realizó en el Centro de Buceo de la Armada (Cartagena), lugar de formación militar en actividades subacuáticas, donde se lleva a cabo el curso de buceador de aire comprimido hasta 50 metros con equipo de buceo autónomo y con una duración de 8 semanas. Los buceadores realizan una inmersión diaria, sin descompresión programada, de tal forma que en función de la profundidad se determina el tiempo máximo en el fondo sin necesidad de realizar descompresión, según el programa del curso recogido en la tabla 1. Todos los sujetos que participaron en el estudio lo hicieron de forma voluntaria.

La muestra estuvo compuesta por 92 militares profesionales, varones, sanos, sin contacto previo con equipos de buceo. Las características básicas de la muestra se presentan en la tabla 2. Es de destacar que la actividad física más extendida fue la carrera continua (88%), mientras que el 12% restante practicaba actividades anaerobias.

El equipo de buceo empleado, similar para todos los sujetos, está compuesto por: traje de neopreno de 3 mm de espesor y un equipo respiratorio constituido por botellas de aluminio de 15 litros de capacidad y un regulador convencional. Es un equipo de circuito abierto donde el

Tabla 1
Actividades físicas terrestres y subacuáticas del curso de buceo

Semana del curso	Actividad física terrestre	Actividad subacuática
Primera semana	1 hora diaria de ejercicios aeróbicos + 1 hora semanal de natación	Fase en piscina: 5 inmersiones, máxima profundidad 2 metros, tiempo máximo 2 horas
Segunda semana	1 hora diaria de ejercicios aeróbicos + 1 hora semanal de natación	Inmersión en mar abierto: 5 inmersiones semanales, máxima profundidad 10 metros, tiempo máximo 1 hora
Tercera semana	1 hora diaria de ejercicios aeróbicos + 1 hora semanal de natación	Inmersión en mar abierto: 5 inmersiones semanales, máxima profundidad 15 metros, tiempo máximo 1 hora
Cuarta semana	1 hora diaria de ejercicios aeróbicos + 1 hora semanal de natación	Inmersión en mar abierto: 5 inmersiones semanales, máxima profundidad 30 metros, tiempo máximo 30 minutos
Quinta semana	1 hora diaria de ejercicios aeróbicos + 1 hora semanal de natación	Inmersión en mar abierto: inmersiones a 40 metros, tiempo máximo 5 minutos; inmersión a 50 metros, tiempo máximo 5 minutos
Sexta semana	1 hora diaria de ejercicios aeróbicos + 1 hora semanal de natación	Adiestramiento fuera de las instalaciones del centro: 10 inmersiones entre 5 y 10 metros, tiempo máximo 30 minutos
Séptima semana	1 hora diaria de ejercicios aeróbicos + 1 hora semanal de natación	Inmersiones a media profundidad (15-25 metros): 5 inmersiones, tiempo máximo 60 minutos
Octava semana	1 hora diaria de ejercicios aeróbicos + 1 hora semanal de natación	Inmersiones a media profundidad (15-25 metros): 5 inmersiones, tiempo máximo 60 minutos

Tabla 2
Características de la muestra

Variable independiente (media y DE)	Grupo	Intervalo	Número de sujetos (%)
Edad (26,26 ± 3,5 años)	1	≥ 20 y ≤ 24	35 (38)
	2	> 24 y ≤ 28	31 (38,7)
	3	> 28 y ≤ 33	26 (28,3)
IMC (24,21 ± 2,10)	1	≤ 23	30 (32,6)
	2	> 23 y ≤ 25	31 (33,69)
	3	> 25 y < 27	31 (33,69)
Horas deporte/semana	1	< 5	17 (18,47)
	2	5-10	59 (64,13)
	3	> 10	16 (17,39)
Número cigarrillos/día	1	No fumadores	55 (59,78)
	2	< 10	14 (15,21)
	3	10-20	23 (25)
Años fumando	1	No fumador	55 (59,78)
	2	< 5	17 (18,47)
	3	≥ 5 y < 10	20 (21,73)

DE: desviación estándar; IMC: índice de masa corporal.



Fig. 1. Buceador en la piscina de ejercicios.

aire espirado se expulsa al exterior, y a demanda, solo suministra aire durante la inspiración (fig. 1).

Para los estudios espirométricos empleamos un espirómetro portátil (Vitalograph COMPACT, Cat. n.º 42.000; Vitalograph, Vitalograph Ltd, England). Los parámetros empleados fueron FVC, FEV1, FEV1/FVC, flujo espiratorio pico (PEF), flujo espiratorio forzado entre el 25 y el 75% de la espiración (FEF 25-75%) y flujo espiratorio forzado entre el 75 y el 85% de la espiración (FEF 75-85%); las espirometrías se realizaron por el mismo examinador y según las normas de la SEPAR, empleando los valores de

referencia establecidos por la ECCS²⁸. Los resultados se expresaron como porcentaje de los valores teóricos de referencia.

Procedimientos

De forma previa al inicio del curso, y antes de cualquier contacto con el medio subacuático, los alumnos realizaban una encuesta de salud y un estudio espirométrico. En la encuesta de salud se recogían datos antropométricos (edad e índice de masa corporal [IMC]), nivel de actividad física y hábito tabáquico. El análisis de estos datos nos permitió clasificar a la muestra en distintos grupos.

Las pruebas espirométricas se realizaron del siguiente modo: el primer día a todos los sujetos, de forma que cada sujeto actuó como control de sí mismo. A continuación se realizaron espirometrías semanales, para ello a cada sujeto se le asignaba un día de la semana, donde a primera hora de la mañana, y antes de las actividades físicas y acuáticas, debía repetir la espirometría, de manera que de cada alumno se obtenían un total de 7 determinaciones. Durante la sexta semana no se realizó determinación debido a que los alumnos del curso se desplazaban fuera de las instalaciones del centro para completar su formación. De forma previa a los estudios espirométricos semanales los alumnos informaban sobre la presencia de sintomatología pulmonar experimentada durante la semana previa.

Análisis estadístico

Los resultados descriptivos de las variables cualitativas empleadas se han presentado con medidas de frecuencia, mientras que las variables cuantitativas, una vez comprobados sus criterios de normalidad estadística mediante la prueba de Kolmogorov Smirnov, se expresaron mediante los valores de media aritmética y desviación estándar, incluyendo en los parámetros obtenidos de las medidas de las variables dependientes el intervalo de confianza al 95%.

Para el contraste de hipótesis de muestras independientes se han utilizado las pruebas paramétricas de la t de Student y el análisis de la varianza para un factor. Para el análisis de la evolución de los valores de cada uno de los parámetros medidos de forma repetida en cada sujeto, se ha utilizado el análisis de la varianza para medidas repetidas con dos factores, un factor intra-sujeto, conteniendo cada uno de ellos los 7 niveles de medida repetidos, y un segundo factor inter-sujeto, compuesto por las variables independientes, todas ellas categorizadas, que definen los factores individuales.

El análisis estadístico ha sido realizado utilizando el programa estadístico SPSS 11.5, para Windows, estableciendo el nivel de significación estadística para $p < 0,05\%$.

Resultados

En la primera espirometría se observa una normalidad de los parámetros espirométricos, tal y como se recoge en la tabla 3. Al estudiar los efectos de los factores individuales, categorizados por grupos, sobre la espirometría inicial se observa que cuanto mayor es el IMC, los valores de FEF 75-85% son inferiores, siendo estas diferencias estadísticamente significativas ($p = 0,01$) (tabla 4). El resto de los factores individuales no presentaron una influencia significativa sobre los parámetros espirométricos iniciales.

En relación con la evolución semanal: se observa una evolución descendente de los parámetros de flujo FEV1, FEV1/FVC, FEF 25-75% y FEF

Tabla 3
Resultados de la primera determinación espirométrica

Parámetro	Media ± DE	Intervalo de confianza al 95%	
		Límite inferior	Límite superior
FVC	110,48 ± 12,13	107,97	112,99
FEV1	102,72 ± 12,91	100,04	105,39
FEV1/FVC	78,75 ± 7,73	77,15	80,35
PEF	102,36 ± 22,65	97,67	107,05
FEF 25-75%	95,82 ± 22,36	91,19	100,46
FEF 75-85%	105,08 ± 35,86	97,65	112,5

DE: desviación estándar; FEF 25-75%: flujo espiratorio forzado entre el 25 y el 75% de la espiración; FEF 75-85%: flujo espiratorio forzado entre el 75 y el 85% de la espiración; FEV1: volumen espiratorio forzado en el primer segundo; FVC: capacidad vital forzada; PEF: flujo espiratorio pico.

Tabla 4
Variación del parámetro FEF 75-85% por grupos de masa corporal

FEF 75-85%	Grupo 1 Media ± DE	Grupo 2 Media ± DE	Grupo 3 Media ± DE	F	P
Primera determinación	120,2 ± 42,32	101,68 ± 30,28	93,84 ± 29,68	4,67	0,01

DE: desviación estándar; FEF 75-85%: flujo espiratorio forzado entre el 75 y el 85% de la espiración.

75-85%, que estuvo acompañada de una alta significación estadística ($p < 0,001$) (tabla 5). Además se ha observado la ausencia de influencia de los factores individuales en la evolución de los parámetros espirométricos.

Discusión

Los estudios espirométricos realizados en una población que se somete por primera vez, y de forma continuada, al medio hiperbárico usando equipos de buceo con aire comprimido revelan, desde la primera exposición y de forma continuada, un descenso de los parámetros de flujo.

Para determinar en qué momento de la exposición se presentaba la mayor afectación espirométrica realizamos una recogida semanal de muestras, ya que en los distintos estudios consultados^{5,29,30} estos controles se llevaron a cabo de forma más espaciada en el tiempo: con medidas al inicio de la actividad, a la mitad de la misma y a la finalización de la exposición; además, las muestras empleadas estaban compuestas tanto por no buceadores como por buceadores con distinto grado de experiencia en el empleo de estos equipos. En nuestro estudio, aplicamos un modelo longitudinal, con controles semanales, estando la muestra compuesta de forma íntegra por sujetos sin antecedentes previos de uso de equipos de buceo con aire comprimido. Las medidas se realizaron por el mismo explorador, a la misma hora de la mañana y antes de cualquier

actividad física terrestre, ya que la liberación de catecolaminas favorece el efecto broncodilatador pudiendo aumentar los parámetros medidos³¹, o acuática, ya que las mediciones realizadas de forma inmediata tras el buceo pueden estar influidas por los efectos residuales de la redistribución sanguínea torácica ocasionada por el aumento de presión medioambiental^{32,33}. Es de destacar, tras los distintos controles semanales, que la evolución espirométrica no se acompañó de manifestaciones clínicas de tipo pulmonar, circunstancia que coincide con lo observado por otros autores^{5,30,34}.

Un aspecto poco recogido en la literatura consultada es el efecto de los factores individuales en los procesos de adaptación pulmonar al buceo. Así, respecto a la edad, no se aprecian diferencias significativas en función de los tres grupos establecidos, ya sea en la espirometría inicial o en las determinaciones periódicas. Por tanto, podemos establecer que no es este el rango de edad (20-33 años) en el que pueden verse afectados los parámetros espirométricos de forma previa al buceo, ni el rango en el que la edad tiene influencia sobre la evolución espirométrica durante la práctica del buceo.

En relación con el IMC, no parece que este factor presente ninguna influencia sobre la actividad pulmonar durante la práctica del buceo ni como factor predisponente a presentar mayor número de patologías derivadas de su ejercicio^{35,36}, aunque clásicamente se considera que un exceso de grasa corporal es un factor de riesgo para presentar patología descompresiva debido a la alta solubilidad del nitrógeno en el tejido graso. Sin embargo, sí observamos la existencia de una relación inversamente proporcional entre valores de IMC y valores de FEF 75-85%, lo que puede ser atribuido a un incremento de la masa muscular pulmonar o a un exceso de la grasa corporal³⁷. Sin embargo, pese a presentar valores inferiores a los de los otros grupos de menor IMC, estos estuvieron dentro de la normalidad.

Ninguna de las variables espirométricas estudiadas está influenciada de forma estadísticamente significativa por el consumo de tabaco. Estos resultados coinciden con lo establecido por diversos autores consultados^{30,32,38}, que apuntan un comportamiento espirométrico similar entre fumadores y no fumadores, observándose estas similitudes tras inmersiones con aire comprimido, tras largas estancias en ambiente hiperbárico, como el buceo en saturación, o tras largo plazo de actividad profesional. Fitzpatrick y Conkin⁶ observan que el buceo afecta de forma positiva a los fumadores, de tal forma que al menos durante el primer año de actividad profesional existe una relación positiva entre paquete/día y evolución de FVC. Entre los factores que podemos argumentar para la ausencia de esta influencia podemos destacar: la baja edad media de la población, el poco tiempo de actividad fumadora y la importante actividad física, tanto terrestre como acuática, realizada durante el curso.

Los sujetos con mayor nivel de actividad física presentaron valores espirométricos superiores a aquellos con menor nivel de actividad física,

Tabla 5
Análisis de la varianza para medidas repetidas

Parámetro	Determinaciones							P
	1.ª medida	2.ª medida	3.ª medida	4.ª medida	5.ª medida	6.ª medida	7.ª medida	
FVC	110,48 ± 12,13	110,3 ± 12,43	110,29 ± 12,1	110,05 ± 12,47	109,62 ± 13,54	108,91 ± 14,51	110,35 ± 13,15	0,12
FEV1	102,72 ± 12,91	99,08 ± 13,13	98,7 ± 12,54	97,16 ± 14,05	96,35 ± 15,68	97,09 ± 15,14	96,73 ± 15,83	< 0,001
FEV1/FVC	78,75 ± 7,73	76,29 ± 8,1	75,99 ± 7,41	74,74 ± 8,02	74,45 ± 9,19	75,57 ± 8,43	74,25 ± 9,91	< 0,001
PEF	102,36 ± 22,65	99,78 ± 24	100,77 ± 22,08	98,6 ± 22,53	98,5 ± 23,09	98,15 ± 22,31	98,93 ± 23,3	0,2
FEF 25-75%	95,83 ± 22,36	88,43 ± 19,65	86,88 ± 18,6	85,71 ± 19,83	85,59 ± 19,27	84,51 ± 19,27	84,33 ± 18,94	< 0,001
FEF 75-85%	105,08 ± 35,86	94,42 ± 32,19	89,65 ± 27,95	87,82 ± 30,52	87,35 ± 29,95	86,13 ± 29,92	86,27 ± 29,44	< 0,001

FEF 25-75%: flujo espiratorio forzado entre el 25 y el 75% de la espiración; FEF 75-85%: flujo espiratorio forzado entre el 75 y el 85% de la espiración; FEV1: volumen espiratorio forzado en el primer segundo; FVC: capacidad vital forzada; PEF: flujo espiratorio pico.

diferencias que se mantuvieron a lo largo del curso y a la finalización del mismo, careciendo de significación estadística.

La ausencia de influencia de los factores individuales en las modificaciones espirométricas puede ser debida a la existencia de una muestra muy homogénea tanto en edad como en factores físicos y de salud. Por tanto, podemos suponer que con el empleo de muestras más heterogéneas (mayor rango de edad, mayor nivel de consumo de tabaco, menor nivel de actividad física, o incluso distinto sexo) los resultados podrían ser distintos y quizá más limitantes para la práctica del buceo.

En relación con los factores inherentes al medio acuático, son conocidos los efectos negativos del oxígeno sobre la función pulmonar, sin embargo, en nuestro programa de formación la máxima profundidad de 50 metros, equivalente a una presión parcial de oxígeno de 1,26 ata, solo se alcanza una vez durante el desarrollo del curso, siendo la estancia inferior a 5 minutos. Desde el punto de vista clínico ningún alumno manifestó la presencia de sintomatología pulmonar tras esta inmersión, y desde el punto de vista espirométrico el único parámetro que experimentó descenso, de escaso valor y sin significado estadístico, fue FEV1. Estos hallazgos coinciden con lo establecido por otros autores^{38,39}, que consideran que las inmersiones ocasionales a esta profundidad y de escasa duración no presentan efectos tóxicos pulmonares debidos al oxígeno. Sin embargo, Tetzlaff et al⁴⁰ consideran que el ejercicio continuado de estas inmersiones, ya sea profesional o deportivo, puede contribuir a una afectación crónica de las vías aéreas.

En ocasiones la eliminación pulmonar de las burbujas de nitrógeno generada en toda inmersión puede presentar efectos negativos pulmonares, sin embargo diversos autores establecen^{16,33,41} que en las inmersiones con aire comprimido a poca profundidad, de duración limitada y respetando las normas de seguridad (velocidad de ascenso a superficie no superior a 9 m/min y paradas de descompresión adecuadas) no se aprecia la existencia de microburbujas y que por tanto no se produce afectación pulmonar. Sin embargo Lemaitre et al⁴² establecen que la repetición de estas inmersiones y con largas estancias, sometidos a situaciones de aumento de presión, trae consigo una mayor producción de microburbujas, lo que puede acarrear la aparición de efectos pulmonares a largo plazo.

Si bien los factores anteriormente citados no están presentes durante todo el desarrollo del curso, debemos observar que los mayores descensos se producen durante la fase de piscina, y que en las siguientes semanas los descensos son mantenidos. Existen otros factores que son constantes durante toda la exposición: por un lado destacamos el empleo de aire comprimido, que con sus características de alta presión y baja humedad, asociadas con la eliminación de la vía nasal durante el buceo y la exposición facial a un medio hipotérmico, puede favorecer la aparición de un reflejo de estrechamiento bronquial por acción vagal² que va a estar favorecido por la práctica de ejercicios físicos¹⁷. Además de lo anterior, el empleo de los equipos de buceo favorece la aparición de cambios adaptativos pulmonares⁴³, que junto a la modificación de los patrones respiratorios^{23,24}, son factores que en su conjunto podrían explicar los cambios espirométricos observados desde el inicio del curso de buceo.

Finalmente, como conclusión podemos decir que el modelo de recogida de datos ha sido una herramienta útil para determinar la evolución espirométrica de un colectivo que se somete por primera vez al medio acuático, ya que objetiva que ni el tiempo de exposición ni la profundidad son importantes para producir estos cambios. Entre los factores que pueden explicar estas modificaciones destacamos las características mecánicas del equipo de buceo, así como las características físicas de la mezcla gaseosa.

Bibliografía

- Hope A, Lund T, Elliott DH, Hulsey M, Wiig H, editors. Long term health effects of diving. Bergen, Norway: Norwegian Underwater Technology Centre; 1994.
- Crosbie WA, Clarke MB. Physical characteristics and ventilatory function of 404 commercial divers working in the North Sea. Br J Ind Med. 1977; 34:19-25.
- Crosbie WA, Reed JW, Clarke MC. Functional characteristics of the large lungs found in commercial divers. J Appl Physiol. 1979;46:639-45.
- Davey IS, Cotes JE, Reed JW. Relationship of ventilatory capacity to hyperbaric exposure in divers. J Appl Physiol. 1984;56:1655-8.
- Skogstad M, Thorsen E, Haldorsen T. Lung function over the first 3 years of a professional diving career. Occup Environ Med. 2000;57:390-5.
- Fitzpatrick DT, Conkin J. Improved pulmonary function in working divers breathing nitrox at shallow depths. Aviat Space Environ Med. 2003;74:763-7.
- Widell PJ, Bennett PB, Kivlin P, Gray W. Pulmonary oxygen toxicity in man at 2 ata with intermittent air breathing. Aerospace Med. 1974;45(4):407-10.
- Crosbie WA, Cumming G, Thomas IR. Acute oxygen toxicity in a saturation diver working in the North Sea. Undersea Biomed Res. 1982;30:231-5.
- Cantais E, Louge P, Suppini A, Foster P, Palmier B. Right-to-left shunt and risk of decompression illness with cochleovestibular and cerebral symptoms in divers: Case control study in 101 consecutive dive accidents. Crit Care Med. 2003;31(1):84-8.
- Harris RJD, Doolette DJ, Wilkinson DC, Williams DJ. Measurement of fatigue following 18 msw dry chamber dives breathing air or enriched air nitrox. Undersea Hyperb Med. 2003;30(4):285-91.
- Wisloff U, Richardson RS, Brubakk AO. Exercise and nitric oxide prevent bubble formation: a novel approach to the prevention of decompression sickness? J Physiol. 2004;555 (Pt 3):825-9.
- Desola Ala J. Accidentes de buceo (1). Enfermedad descompresiva. Med Clin (Barc). 1990;95:147-56.
- Oriani G, Marroni A, Wattel F. Handbook on hyperbaric Medicine. Milano, Italia: Springer-Verlag; 1996.
- Bermon S, Magnié MN, Dolisi C, Wolkiewicz J, Gastaud M. Decreased pulmonary diffusing capacity of divers over a 6-year period. Eur J Appl Physiol. 1997;76:170-3.
- Calder IM, Sweetnam K, Chan KK, Williams MMR. Relation of alveolar size to forced vital capacity in professional divers. Br J Ind Med. 1987;44:467-9.
- Tetzlaff K, Friege L, Koch A, Heine L, Neubauer B, Struck N, et al. Effects of ambient cold and depth on lung function in humans after a single scuba dive. Eur J Appl Physiol. 2001;85:125-9.
- Dillard TA, Ewald FW. The use of pulmonary function testing in piloting, air travel, mountain climbing and diving. Clin Chest Med. 2001;22(4):795-816.
- Jenks SL, Morrison JB. Respiratory work in dry and immersed states. En: Sterk W, Geeraedts L, editors. Proceedings of the XVI Annual Meeting of EUBS. Amsterdam, The Netherlands; 1990. p. 61-8.
- Morrison JB. The measurement of respiration at high ambient pressures. En: Drew EA, Lythgoe JN, Woods JD, editors. Underwater Research. London: Academic Press; 1976. p. 237-51.
- Segadal K, Furevik DM, Myrseth E. Breathing resistance: keeping the requirements realistic. Proceedings of an International Conference, DIVE-TECH; 1984 Nov 14-15, London, UK; 1984. p. 85-98.
- Bulmann AA. Respiratory resistance with hyperbaric gas mixtures (respiratory effects of increased pressure). Proceedings of the 2nd symposium on underwater physiology. Washington. En: Lambersten CJ, Greenbaum LJ, editors. Natl Acad Sci Natl Res Council. 1963;98-108.
- Schaefer KE. Effect of prolonged diving training. Proceedings of the 2nd symposium on underwater physiology. Washington. En: Lambersten CJ, Greenbaum LJ, editors. Natl Acad Sci Natl Res Council. 1963;271-6.
- Albano G. Principles and observations on the physiology of the scuba diver. Office of Navy Research, Department of the Navy, Arlington, Virginia; 1970. p. 67-132.
- Henke KG, Sharrat M, Pegelow D, Dempsey A. Regulation of end-expiration lung volume during exercise. J Appl Physiol. 1988;64:135-46.
- Hesser CM, Lind F, Linnarsson D. Significance of airway resistance for the pattern of breathing and lung volumes in exercising humans. J Appl Physiol. 1990;68:1875-82.
- Maio DA, Farhi LE. Effect of gas density on mechanics of breathing. J Appl Physiol. 1967;23(5):687-93.
- Dougherty JH. Use of H₂ as an inert gas during diving: Pulmonary function during H₂-O₂ breathing at 7.06 ATA. Aviat Space Environ Med. 1976; 47(6):618-26.
- Standardized lung function testing. Report working party. Bull Eur Physiopathol Respir. 1983;19 Suppl 5:1-95.
- Bermon S, Lapoussiere JM, Dolisi C, Wolkiewicz J, Gastaud M. Pulmonary function of a firemen-diver population: a longitudinal study. Eur J Appl Physiol. 1994;69(5):456-60.
- Skogstad M, Thorsen E, Haldorsen T, Kjuus H. Lung function over six years among professional divers. Occup Environ Med. 2002;59:629-33.

31. Fitch KD, Morton AR. Enfermedad respiratoria. En: Dirix A, Knuttgen HG, Tittel K, editors. Libro olímpico de la medicina deportiva. Barcelona: Doyma; 1990. p. 561-72.
32. Skogstad M, Thorsen E, Haldorsen T, Melbostad E, Tynes T, Westrum B. Diver's pulmonary function after open-sea bounce dives to 10 and 50 meters. *Undersea Hyperb Med.* 1996;23(2):71-5.
33. Thorsen E, Ronnestad I, Segadal K, Hope A. Respiratory effects of warm and dry air at increased ambient pressure. *Undersea Biomed Res.* 1992;19(2):73-83.
34. Tetzlaff K, Friege I, Reuter M, Mutzbauer T, Neubauer B. Expiratory flow limitation in compressed air divers and oxygen divers. *Eur Respir J.* 1998; 12:895-9.
35. Hagberg M, Ornhagen H. Incidence and risk factors for symptoms of decompression sickness among male and female dive masters and instructors. A retrospective cohort study. *Undersea Hyperb Med.* 2003;30(2):93-102.
36. Freiburger JJ, Lyman SJ, Denoble PJ, Piper CF, Vann RD. Consensus factors used by experts in the diagnosis of decompression illness. *Aviat Space Environ Med.* 2004;75(12):1023-8.
37. Schoenberg JB, Beck CJ, Bouhuys A. Growth and decay of pulmonary function in healthy blacks and whites. *Respir Physiol.* 1978;33(3):367-93.
38. Thorsen E, Risberg J, Segadal K, Hoipe A. Effects of venous gas microemboli on pulmonary gas transfer function. *Undersea Hyperb Med.* 1995;22(4):347-53.
39. Dujic Z, Eterovic D, Denoble P, Krstacic G, Tocilj J, Gosovic S. Effect of a single air dive on pulmonary diffusing capacity in professional divers. *J Appl Physiol.* 1993;74:55-61.
40. Tetzlaff K, Neubauer B, Reuter M, Friege L. Atopy, airway reactivity and compressed air diving in males. *Respiration.* 1998;65:270-4.
41. Reed JW, Elliott C, Thorsen E. Increased lung compliance in response to moderate hyperoxic exposure. *Undersea Hyperb Med.* 2001;28(1):19-23.
42. Lemaitre F, Meunier N, Bedu M. Effect of air diving exposure generally encountered by recreational divers: Oxidative stress? *Undersea Hyperb Med.* 2002;29(1):39-49.
43. Koehle MS, Hodges ANH, Lynn BM, Rachich MF, McKenzie DC. Diffusing capacity and spirometry following a 60-minute dive to 4.5 minutes. *Undersea Hyperb Med.* 2006;33(2):109-18.



Original

Estudio atribucional sobre los motivos del éxito y fracaso deportivo en función de la modalidad practicada

P. Malico Sousa^a, A. Rosado^b, T. Cabrita^b y J. L. Lancho^a

^aLaboratorio de Ciencias Morfofuncionales del Deporte. Facultad de Medicina. Universidad de Córdoba. España.

^bDepartamento de Ciencias del Deporte. Facultad de Motricidad Humana. Universidad Técnica de Lisboa. Portugal.

Historia del artículo:

Recibido el 15 de julio de 2008

Acceptado el 12 de agosto de 2008

Palabras clave:

Atribuciones causales.

Modelo atribucional de Weiner (1979, 1986).

Éxito y fracaso deportivo.

Escala de dimensión causal (CDSII).

Modalidad practicada.

Key words:

Causal attribution.

Weiner's attributional model (1979, 1986).

Sporting success and failure.

Causal Dimension Scale II.

Type of sport.

RESUMEN

Objetivo. Determinar el papel de las atribuciones causales en el contexto deportivo en función de la modalidad practicada.

Método. La muestra es de 338 atletas, con edades comprendidas entre 16 y 38 años (media: 23,73; desviación estándar: 5,86), participantes en competiciones federadas del deporte portugués, en las modalidades olímpicas de fútbol (n = 192), atletismo (n = 100) y esgrima (n = 46). En la evaluación de las atribuciones causales se utilizó la *Causal Dimension Scale II* (CDSII: McAuley, Duncan & Russell, 1992), referida al modelo atribucional tridimensional de la motivación y emoción de Weiner (1979, 1986), en una versión traducida y adaptada para la población portuguesa por Fonseca (1993).

Resultados. Los jugadores de fútbol clasifican sus mejores resultados como más internos, menos inestables y más controlables por ellos mismos cuando se comparan con los practicantes de atletismo y esgrima (deportes individuales). En la comparación entre los deportes individuales, en situaciones de fracaso deportivo, fueron los esgrimistas quienes dieron explicaciones más internas y controlables por ellos mismos y no por otros, a las causas de sus resultados, en comparación con los practicantes de atletismo.

Conclusión. Tanto en las situaciones de éxito como de fracaso deportivo, el tipo de deporte practicado por los atletas parece estar asociado a las atribuciones causales que elaboran como explicación de sus resultados más importantes.

© 2008 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

ABSTRACT

Attributional study on the reasons for success and failure in sports based on the modality practiced

Purpose. Determine the role of causal attributions in the sports context based on the modality practiced.

Methods. The sample was made up of 338 athletes, aged from 16 to 38 years (mean = 23.73; standard deviation: 5.86), who participated in federated sports competitions, in the Olympic events of soccer (n = 192), athletics (n = 100) and fencing (n = 46). Causal attributions were evaluated using the Causal Dimension Scale II (CDSII: McAuley, Duncan & Russell, 1992), in regards to Weiner's tridimensional attributional theory of motivations and emotion (1979-1986), in a version translated and adapted for the Portuguese population by Fonseca (1993).

Results. Soccer players classified their best results as more internal, less unstable and more personally-controllable causes than those cited by those practicing athletics and fencing (individual sports). Comparison between the two individual sports showed that fencers tended to attribute their failures to more internal and more personally-controllable causes than those practicing athletics.

Conclusions. These data on perceptions of sporting success and failure suggest a relationship between the type of sport engaged in and the perceived causality of more positive and negative outcomes.

© 2008 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

Correspondencia:

P. Malico Sousa.

Correo electrónico:

pmalico@mail.pt

Introducción

Pocas veces uno se contenta con una sencilla descripción del comportamiento de alguien que acaba de conocer, o de quien había oído hablar. De igual modo, buscamos continuamente explicar lo que nos pasa todos los días, con relación a las más variadas situaciones y contextos que afrontamos. Consecuentemente, cada uno desarrolla una forma única de analizar su entorno, por lo que no sorprende que tengamos diferentes interpretaciones de un mismo suceso vivido o presenciado. A estas inferencias, en la psicología social, las llamamos atribuciones.

Encontradas las relaciones causales y sus implicaciones, uno está capacitado para controlar mejor y más fácilmente su entorno, a predecir el comportamiento de su interlocutor y a iniciar cualquier acción. Así, podrán constituirse cadenas de atribuciones y muchas corresponderán a estereotipos: oyendo hablar de un gitano, ¿cuántos de nosotros no concluiremos de inmediato que él es sucio, descuidado, ladrón y, sin embargo, buen músico?

De igual modo, en lo que toca al contexto deportivo, esta búsqueda de explicaciones y de asociaciones de causas para los sucesos se hace a cada momento, con lo cual su resultado tiene un papel fundamental, en torno a la estructuración de las convicciones de los atletas, sobre los resultados deportivos que alcanzan. Por otra parte, estas convicciones, que son un producto de todo el proceso perceptivo-cognitivo, condicionarán el futuro comportamiento de los atletas a través del desarrollo de expectativas concordantes con la atribución ya producida¹.

Así, se asume que el modo como los atletas perciben y explican sus resultados, está relacionado con sus comportamientos futuros y, consecuentemente, influye en su motivación.

Considerando el énfasis dado a la motivación para la realización en contextos deportivos, ha sido comúnmente aceptado por los investigadores^{2,3} que este tema no solo es importante para la investigación psicológica en el deporte, en términos generales, sino también para el estudio de las atribuciones, en particular.

De entre todas las teorías relacionadas con la atribución, y en lo que respecta específicamente al contexto deportivo, el modelo de Weiner^{4,5} ha sido el más utilizado por los investigadores^{2,3,6,7}.

Siguiendo muy de cerca la propuesta teórica de Heider^{8,9} según la cual la ocurrencia de las atribuciones se verifica en una dimensión de internalidad/externalidad, y a nivel de la estabilidad del efecto, Weiner¹⁰ propuso una taxonomía para el razonamiento causal, tomando como base estudios sobre la motivación para la realización.

El modelo presentado por Weiner, y clasificado por Faria¹¹ como "racional y lógico", sobre la producción de atribuciones causales para explicar los resultados y sus consecuencias, al preconizar la utilización predominante de las atribuciones relacionadas con la capacidad, el esfuerzo, la dificultad de la tarea y la suerte en contextos de realización, propone, en un primer momento, una taxonomía atribucional incluyendo dos dimensiones: la estabilidad con que el efecto cambia a lo largo del tiempo (estable frente a inestable) y la localización causal o locus de causalidad (causa interna al individuo o que se relaciona con uno mismo frente a los factores externos).

En lo que respecta al locus de causalidad, el autor sugiere que un buen desempeño atribuido a factores internos (por ejemplo, capacidad y esfuerzo personal) genera mayor autoestima que otro imputado a causas externas. A su vez, la estabilidad del efecto tiene implicaciones en la expectativa de éxito o de fracaso futuro. La imputación de causalidad estable tiende a generar expectativas de resultados parecidos en el futu-

ro, contrariamente a las situaciones en que la atribución está asociada a los factores inestables.

La aplicación del modelo bidimensional de Weiner¹⁰ en contextos diversificados desencadenó algunas críticas en cuanto a su validez¹², una vez que, y a pesar de que las dos dimensiones iniciales propuestas se revelaron útiles, no explicaban la totalidad de los resultados. El mismo Weiner⁵ reconoció esta limitación posteriormente, y señaló que el modelo era restrictivo en la explicación de las atribuciones causales. El autor, admitiendo el hecho de que las causas pueden cambiar de contexto en contexto, ya había llamado la atención sobre la probabilidad de la existencia de otros elementos causales igualmente importantes, que deberían ser considerados por los investigadores de la atribución.

Así, Weiner⁴ incorpora una tercera dimensión en la taxonomía del razonamiento causal –el grado de controlabilidad del efecto– con el objetivo de perfeccionar su modelo inicial. Este factor está relacionado con la posibilidad de que la causa esté influenciada por la acción directa del individuo, o de terceros, es decir, se pasó a considerar que una causa es (in)controlable cuando puede ser modificada o afectada por alguien (el mismo, o el otro) estando, de este modo, íntimamente ligada a los aspectos de la naturaleza del comportamiento.

Posteriormente, con el propósito de presentar una teoría unificada de la motivación y la emoción, Weiner⁵ publicó un libro titulado *An attributional theory of motivation and emotion*, donde concentró toda su labor dedicada a la temática de las atribuciones.

En suma, el aspecto nuclear de esta teoría está centrado en la idea de que las personas organizan su pensamiento atribucional en torno a las dimensiones del locus de causalidad, estabilidad y controlabilidad.

Hay que destacar que, posteriormente, McAuley et al¹³ propusieron la división de la dimensión de controlabilidad en dos factores distintos, aunque relacionados: el control personal y el control externo. El control personal se refiere a la posibilidad de ser uno mismo el que controla la causa en análisis, mientras el control externo remite a la probable influencia de otros sobre esa misma causa.

Estos autores desarrollaron distintos estudios en diversos contextos de realización, con el objetivo de confirmar su afirmación. Los resultados evidenciaron la superioridad del modelo tetrafactorial con relación a otros modelos que integraban un menor número de dimensiones, llevando a McAuley et al¹³ a proponer el alargamiento del modelo tridimensional de Weiner.

De este modo, la teoría atribucional de la motivación y emoción de Weiner se constituyó como una provechosa estructura conceptual de apoyo a los investigadores, ya que integra conceptos diversificados, como la causalidad percibida, las expectativas de éxito/fracaso y la diversidad de emociones¹⁴.

Otro dato particularmente importante se asienta en el hecho de que su teoría podrá constituir un destacado marco de referencia en el análisis de la percepción de la causalidad en contextos de realización, ya que la asimetría de este modelo, para situaciones de éxito y de fracaso, permite su aplicabilidad a los más variados dominios.

Los estudios realizados utilizando este modelo^{15,16} confirman que las atribuciones para las situaciones de éxito tienden a ser internas, estables o inestables, y controlables, y las situaciones de fracaso están asociadas a causas más externas, inestables y bajo control externo.

Además, la cantidad de autores que utilizaron el modelo de Weiner^{4,5} como apoyo teórico de sus estudios traduce un evidente aumento de la importancia en tratarlo en la investigación atribucional. La teoría de Weiner ha sido aplicada en una considerable diversidad de contextos de realización, desde el académico^{11,17-19} al clínico²⁰, pasando por la selec-

ción de personal²¹, las relaciones sociales²², o el ámbito deportivo^{14,16,23-28}.

Así, la atribución de que se sirve un atleta para explicar su desempeño asume un carácter fundamental hacia la mejora de su preparación y de sus resultados.

El hecho de que uno tiene como característica de la personalidad una predisposición estable para determinado tipo de atribución representa un indicador de protección o de mantenimiento de la autoestima. Así, se vuelve indispensable examinar las atribuciones causales, considerando el estilo específico de atribución de un determinado individuo, y su influencia en los deportistas a lo largo del entrenamiento y de la competición²⁹.

Hace ya mucho que se parte del principio según el cual los procesos básicos de cognición y de percepción son universales, y de que la inferencia inductiva y deductiva, como la atención, la memoria, la categorización y el análisis causal, son iguales para todos, en todas las culturas.

Bajo esta perspectiva, el disposicionismo y el situacionismo son dos modelos de atribución sólidamente arraigados en las culturas occidental y oriental³⁰. Los occidentales realizan atribuciones causales disposicionales, o sea, tienden a explicar los acontecimientos según rasgos de personalidad fundamentales; a su vez, los orientales tienden a realizar atribuciones causales situacionales.

Como sabemos que el deporte no es una identidad singular, podremos entonces considerar que cada modalidad deportiva es única. En términos generales, cada modalidad representa una subcultura con sus valores particulares, creencias, normas, con su modo específico de pensar y de sentir, en fin, una "personalidad" única en un determinado contexto, es decir, su "propio mundo".

Estas características únicas justifican el estudio de la especificidad psicológica presente en cada modalidad deportiva, así como su comparación. Las investigaciones en el ámbito de la psicología que comparan distintas modalidades parten del supuesto de que estas representan distintas subculturas y, generalmente, comparan a sus participantes centrándose en el modo y el contexto de cada modalidad influencia a los atletas.

Muchos aspectos de las diferencias transculturales están todavía por investigar, incluyendo la cuestión de los distintos criterios para explicar el éxito y el fracaso, las distintas formas de motivación para vencer, la probabilidad de realizar distintas atribuciones, así como la percepción de las causas, en cuanto a las dimensiones del locus de causalidad, estabilidad y controlabilidad.

Aunque la atribución haya sido uno de los temas más estudiados en el dominio de la Psicología del Deporte, a lo largo de la década de los ochenta los estudios llevados a cabo estaban considerados incompletos en algunas áreas. Según Biddle³¹, no se le ha dado la atención debida a la cuestión relacionada con el estilo atribucional de los atletas en la práctica de distintas modalidades deportivas.

La investigación de la atribución causal no varía en cuanto a los niveles o a las unidades analizadas, dificultando así la generalización de las diversas condiciones de la práctica de las modalidades. Así, se vuelve necesario enfatizar el papel de la modalidad deportiva en la atribución.

Los deportes colectivos constituyen redes sociales complejas, y el contexto en el cual son practicados tiene un papel fundamental. De igual modo, las características físicas del ambiente pueden influenciar la percepción, pues cuando comparamos los ambientes donde se practican los deportes individuales con los contextos donde se practican los deportes colectivos, vemos que estos son más complejos y contienen más objetos. Además, los colectivos enfatizan el contexto en detrimento del individuo, mientras los deportes individuales valoran al atleta en detrimento del campo de acción.

Esta investigación pone en contraste las atribuciones causales entre dos resultados (éxito y fracaso) y diferentes modalidades deportivas, a fin de atestiguar los supuestos fundados en las cuestiones subculturales específicas de cada una.

Partimos de la hipótesis según la cual las diferencias en las estructuras sociales y la práctica de las diferentes modalidades motivan las diferencias cognitivas. Este trabajo sugiere que los practicantes de los deportes individuales tienden más a recurrir a una estrategia de competición individual (es decir, a las atribuciones defensivas) para lidiar con las vicisitudes del éxito y del fracaso, que los jugadores de un equipo.

Los practicantes de deportes individuales atribuyen sus resultados más significativos –mejor y peor resultados– a causas más internas, menos inestables y más controlables por ellos mismos en comparación con los practicantes de deportes de equipo. En principio, los practicantes de deportes colectivos recurren a informaciones más contextuales que los practicantes de deportes individuales, en el modo de clasificar las causas de sus resultados.

La hipótesis que formulamos es la de que los practicantes de deportes de equipo y los de deportes individuales tienen modos muy distintos de percibir y de pensar sus resultados deportivos.

Los deportistas individuales tienden a enfocar un determinado objeto, a analizar sus atributos y a categorizarlo, esforzándose por descubrir por qué normas se rige su comportamiento. Las atribuciones causales tienden a concentrarse exclusivamente en la acción individual, por lo que frecuentemente están erradas.

Por otra parte, los jugadores de equipo tienden a considerar un ámbito perceptible y conceptual más amplio, percibiendo las relaciones y los cambios y agrupando los objetos según su semejanza y no por su inserción en una categoría.

Por lo tanto, el objetivo del presente estudio consistió en determinar el papel de las atribuciones causales en el contexto deportivo en función de la modalidad practicada.

Método

Modelo de estudio

En cuanto al objetivo, el estudio es de naturaleza explicativa, de tipo causal-comparativo, ya que pretendemos determinar los factores que explican la atribución de causalidad.

Queremos, fundamentalmente, comparar medias entre grupos predefinidos, por lo que el trabajo presenta un cariz comparativo, donde consideramos que las variables independientes son predecibles, y consecuentemente determinantes de las dependientes.

Participantes

Participaron 338 atletas, de competiciones federadas del deporte portugués, en las modalidades de fútbol (n = 192), atletismo (en las disciplinas de medio fondo y fondo; n = 100) y esgrima (n = 46), con edades comprendidas entre los 16 y los 38 años (media = 23,73; desviación estándar = 5,86).

Variables en estudio

Como variables independientes o explicativas, fueron consideradas las modalidades practicadas por los diferentes atletas: fútbol, atletismo y

Tabla 1
Evaluación de las causas del mejor y peor resultado deportivo

La causa es:	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
1. Algo que refleja un aspecto de ti mismo	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Refleja un aspecto de la situación
2. Algo manejable por ti	9	8	7	6	5	4	3	2	1	No manejable por ti
3. Algo permanente	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Temporal
4. Algo que tú puedes controlar	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Que tú no puedes controlar
5. Algo sobre lo que otros tienen poder	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Sobre lo que otros no tienen poder
6. Algo que está dentro de ti	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Que está fuera de ti
7. Algo estable en el tiempo	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Variable en el tiempo
8. Algo bajo el control de otros	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Que no está bajo el control de otros
9. Algo acerca de ti	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Acerca de otros
10. Algo sobre lo que tienes poder	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Sobre lo que no tienes poder
11. Algo inmodificable	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Modificable
12. Algo que otros pueden regular	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Que otros no pueden regular

esgrima. Por otro lado, como variables dependientes, se tomaron las dimensiones referentes al locus de causalidad, nivel de estabilidad y grado de controlabilidad del modelo atribucional tridimensional de la motivación y emoción de Weiner^{4,5}.

También se usaron variables dependientes relativas a la evaluación de las pruebas/juegos (tiempo transcurrido, nitidez de recuerdo, percepción de importancia y dificultad de la prueba/juego) y caracterización de los resultados (probabilidad de ocurrencia, clasificación y satisfacción provocadas por el resultado obtenido). Sin embargo, las referidas variables son utilizadas en el trabajo a título meramente descriptivo, con el objetivo de permitir una comparación con la tendencia de respuestas elaboradas por los atletas en las dimensiones causales del modelo de Weiner^{4,5}.

En esa medida, y aunque no constituyen dimensiones causales, la recogida de información adicional sobrevenida de la caracterización de estas variables proporciona un mejor conocimiento de la dinámica de los resultados, lo que permite, al mismo tiempo, la evaluación de su relevancia diferencial en el punto referente a la discusión de los mismos.

Instrumentos

Se ha utilizado una versión traducida y adaptada para la población portuguesa por Fonseca (1993) de la *Causal Dimension Scale II* (CDSII¹³).

La CDSII es una escala que permite a las personas evaluadas indicar la causa que consideran que ha estado en el origen del resultado, siendo caracterizada a lo largo de 4 dimensiones: locus de causalidad, estabilidad, control personal y control externo. A cada dimensión le corresponden tres ítems, que se pueden responder en una escala de Likert de 9 puntos. Es decir, sumando el 1, el 6 y el 9 obtendremos los resultados de la dimensión de locus de causalidad; sumando el 3, el 7 y el 11, la dimensión de estabilidad; la puntuación referente a la dimensión de control personal la obtendremos de la suma del 2, el 4 y el 10; por último, sumando el 5, el 8 y el 12 obtendremos la puntuación de la dimensión de control externo.

Los valores de cada dimensión podrán, por tanto, variar entre 3 (mínimo) y 27 (máximo), correspondiendo los valores más altos a autopercepción de mayor internalidad, estabilidad y control personal y externo de las causas consideradas. La evaluación de las causas del mejor y peor resultado deportivo queda representada en la tabla 1.

En este estudio se han tenido en cuenta los resultados de trabajos anteriores de validación y análisis de las características psicométricas de la adaptación portuguesa de la CDSII, que apuntan los siguientes valores estimados de consistencia interna (coeficiente α de Cronbach) para los ítems de cada una de las dimensiones en estudio: locus de causalidad

($\alpha = 0,71$), estabilidad ($\alpha = 0,63$), control personal ($\alpha = 0,75$) y control externo ($\alpha = 0,77$).

A excepción de la dimensión referida a la estabilidad, todos los valores sobrepasan el valor crítico de $\alpha = 0,7$ propuesto por Nunnally³². También el valor medio de α para la globalidad de la escala ($\alpha = 0,715$) es superior a aquel valor.

Una revisión detallada de la traducción y adaptación de este instrumento para la población portuguesa está en Fonseca y Maia^{33,34}.

Además, se formularon cuestiones relativas a los juegos/pruebas (tiempo transcurrido en su realización, nitidez de recuerdo, percepción de su importancia y grado de dificultad) y a los resultados (probabilidad de su ocurrencia, clasificación y satisfacción provocada) recordados por los atletas. Todas estas cuestiones fueron medidas en escalas de Likert de 9 puntos (donde 1 = ninguno o pésimo, y 9 = muchísimo u óptimo).

Procedimientos operacionales

Los cuestionarios fueron distribuidos a los atletas antes de una sesión de entrenamiento. Su aplicación fue colectiva, en las instalaciones de los respectivos clubes, y la recogida fue realizada por el investigador principal.

El cuestionario fue respondido teniendo como referencia dos realidades diametralmente opuestas. En la primera fase, los atletas recordaron el juego/prueba en que alcanzaron su mejor resultado, respondiendo, a continuación, a varias cuestiones de modo que caracterizaran, no sólo el juego/prueba y el resultado obtenido, sino también las causas subyacentes a ese mismo resultado. En una segunda fase, los individuos respondieron a un conjunto de preguntas idénticas, pero cuya referencia pasó a ser la competición en la que alcanzaron su peor resultado.

El criterio de elección del mejor y peor resultado, así como la indicación y clasificación de las causas en las dimensiones correspondientes, fueron de la exclusiva responsabilidad de los atletas, no incurriendo, de este modo, en lo que Russell³⁵ denomina "error fundamental de atribución por el investigador", que consiste en que el investigador es quien caracteriza dimensionalmente las causas indicadas por los atletas.

Análisis estadístico

Se han utilizado métodos tradicionales para el cálculo de la media y la desviación estándar, y un análisis de varianza multivariada (MANOVA) sobre las puntuaciones factoriales de cada una de las dimensiones para la comparación entre las modalidades en estudio.

A posteriori se utilizó la prueba de Tukey, que permite comparaciones múltiples en el análisis de las diferencias medias entre los pares de las modalidades estudiadas.

Se consideró una probabilidad de error de $p \leq 0,05$. Se hizo uso del programa SPSS 14.0 para Windows.

Resultados

Para analizar los resultados en función de la modalidad practicada, se considera la separación de los tres grupos de atletas que constituyeron el total de la muestra según la modalidad federada que practican: fútbol ($n = 192$), atletismo ($n = 100$) y esgrima ($n = 46$).

Las diferencias entre los deportistas practicantes de las tres modalidades, cuando son comparadas sus opiniones en relación a la evaluación de la competición en que obtuvieran sus mejores y peores resultados, se muestran en la tabla 2.

A través del análisis de la tabla anterior, se constata la existencia de diferencias significativas globales entre los grupos, no solo en lo que respecta al tiempo transcurrido desde la competición en que se verificó sus mejores resultados ($F_{(2,335)} = 5,243$, $p = 0,006$), sino también cuando la referencia pasó a ser sus peores resultados ($F_{(2,335)} = 7,082$, $p = 0,001$).

Concretamente, en lo que concierne a los resultados positivos, las diferencias medias (dif.) se manifiestan entre el grupo de los jugadores de fútbol y de los practicantes de atletismo (dif. = 1,135, $p = .0,010$), mientras en el caso de los fracasos deportivos existieron diferencias estadísticamente significativas en dos de los pares estudiados, es decir, entre el grupo de los jugadores de fútbol y el de los practicantes de atletismo (dif. = 1,110, $p = 0,009$), así como entre los jugadores de fútbol y los esgrimistas (dif. = 1,489, $p = 0,008$).

Hay que referir que se encontraron, igualmente, diferencias significativas globales en las dimensiones referentes a la nitidez de recuerdo del mejor resultado ($F_{(2,335)} = 6,213$, $p = 0,002$) y a la importancia del juego/prueba frente al peor resultado ($F_{(2,335)} = 10,398$, $p = 0,000$).

Específicamente, cuando se comparan los tres grupos entre sí, en lo que respecta a la nitidez de recuerdo del mejor resultado, se verifica que en dos de los pares existe heterogeneidad en los resultados obtenidos: los casos del atletismo cuando se comparan con el fútbol (dif. = 0,464, $p = 0,016$) y con la esgrima (dif. = 0,772, $p = 0,004$), siendo el atletismo el que asocia valores estadísticos significativamente mayores que los otros, en la evaluación de esta dimensión.

En cuanto a la importancia atribuida a la competición en que se obtuvieron los peores resultados, se verifican, también, diferencias significativas cuando se comparan los practicantes de atletismo con los jugadores de fútbol (dif. = -1,106, $p = 0,000$) y los esgrimistas (dif. = -0,982, $p = 0,017$), siendo los primeros quienes tienen valores estadísticamente más reducidos para esta dimensión.

En los restantes parámetros evaluados se verificó la homogeneidad entre los grupos estudiados. En la tabla 3 se presentan los valores correspondientes al modo como los atletas caracterizan los resultados obtenidos.

Como se verifica, en la vertiente de los fracasos deportivos, los atletas de los diferentes grupos asumieron una tendencia similar de respuesta, no encontrándose ninguna diferencia estadísticamente significativa en los tres parámetros evaluados.

En lo que concierne a los éxitos, se comprueban diferencias significativas globales entre los grupos en dos de las dimensiones evaluadas: probabilidad de ocurrencia ($F_{(2,335)} = 6,990$, $p = 0,001$) y clasificación del resultado obtenido ($F_{(2,335)} = 4,083$, $p = 0,018$).

En la probabilidad de ocurrencia hay heterogeneidad sólo cuando se comparan los grupos de los practicantes de fútbol y atletismo (dif. =

Tabla 2

Evaluación de la competición (tiempo transcurrido, nitidez de recuerdo, importancia y dificultad) en que ocurrió el resultado recordado

Evaluación de la competición (N = 338)	Tipo de resultado	Modalidad practicada			p
		Fútbol (n = 192) M ± DE	Atletismo (n = 100) M ± DE	Esgrima (n = 46) M ± DE	
Tiempo transcurrido*	Éxito	4,11 ± 3,34	2,98 ± 2,51	3,04 ± 3,45	0,006
	Fracaso	4,01 ± 3,16	2,9 ± 2,68	2,52 ± 3,15	0,001
Nitidez de recuerdo**	Éxito	7,79 ± 1,34	8,25 ± 1,25	7,48 ± 1,57	0,002
	Fracaso	7,03 ± 2,01	7,1 ± 1,89	6,5 ± 2,42	0,224
Importancia del juego/prueba**	Éxito	7,85 ± 1,45	7,58 ± 1,61	7,57 ± 1,57	0,248
	Fracaso	7,15 ± 1,87	6,04 ± 2,3	7,02 ± 1,75	0,000
Dificultad del juego/prueba**	Éxito	7,36 ± 1,61	6,99 ± 1,69	7,61 ± 1,23	0,058
	Fracaso	6,28 ± 2,05	6,13 ± 2,20	6,87 ± 1,75	0,124

Medias y desviaciones estándar (M ± DE) de las respuestas dadas por los atletas, en función de la modalidad practicada y del tipo de resultado.

*Valores indicados en años. **Valores comprendidos entre 1 y 9 (valores más elevados indican mayor nitidez, importancia y dificultad del juego/prueba). En negrita, las diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($p \leq 0,05$).

Tabla 3

Evaluación del resultado obtenido (probabilidad de ocurrencia, clasificación y satisfacción provocada)

Evaluación del resultado (N = 338)	Tipo de resultado	Modalidad practicada			p
		Fútbol (n = 192) M ± DE	Atletismo (n = 100) M ± DE	Esgrima (n = 46) M ± DE	
Probabilidad de ocurrencia*	Éxito	5,27 ± 1,91	6,16 ± 2,07	5,37 ± 1,86	0,001
	Fracaso	4,14 ± 2,21	4,7 ± 2,22	3,91 ± 2,18	0,062
Clasificación*	Éxito	8,08 ± 1,5	7,8 ± 1,21	7,46 ± 1,45	0,018
	Fracaso	1,8 ± 1,52	1,61 ± 0,99	1,85 ± 1,26	0,464
Satisfacción provocada*	Éxito	8,45 ± 1,32	8,42 ± 0,85	8,24 ± 0,84	0,539
	Fracaso	1,35 ± 1,08	1,36 ± 1,08	1,74 ± 1,79	0,130

Medias y desviaciones estándar (M ± DE) de las respuestas dadas por los atletas, en función de la modalidad practicada y del tipo de resultado.

*Valores comprendidos entre 1 y 9 (valores más elevados indican mayor probabilidad de ocurrencia, clasificación y satisfacción provocada).

-0,889, $p = 0,001$), siendo estos últimos los que tienen valores más elevados en esta dimensión.

También en la clasificación del resultado obtenido, sólo los grupos de los jugadores de fútbol y los esgrimistas divergieron de opinión (dif. = 0,627, $p = 0,020$), teniendo los primeros valores estadísticos significativamente mayores que los últimos en la evaluación de este parámetro.

Como ya se indicó, en las restantes dimensiones las diferencias no alcanzaron significación estadística.

En lo que concierne a la manera como los atletas clasificaron dimensionalmente las causas subyacentes a sus éxitos y fracasos, la tabla 4 sintetiza las diferencias encontradas. El análisis de la tabla muestra que son numerosas las diferencias encontradas entre la caracterización que los atletas efectuaron de las causas que explican los resultados alcanzados.

De una manera global, se verifican diferencias estadísticamente significativas entre los grupos en las dimensiones de éxito referentes al locus de causalidad ($F_{(2,335)} = 7,257$, $p = 0,001$), estabilidad ($F_{(2,335)} = 4,025$, $p = 0,019$) y control externo ($F_{(2,335)} = 6,067$, $p = 0,003$), así como en los resultados de fracaso referentes a todas las dimensiones estudiadas: locus de causalidad ($F_{(2,335)} = 8,881$, $p = 0,000$), estabilidad ($F_{(2,335)} = 3,868$, $p = 0,022$), control personal ($F_{(2,335)} = 16,030$, $p = 0,000$) y control externo ($F_{(2,335)} = 19,046$, $p = 0,000$).

Más específicamente, cuando se comparan los grupos dos a dos, se constata que en relación a las diferentes dimensiones en las situaciones

Tabla 4

Evaluación de las causas (en lo que concierne a las dimensiones del locus de causalidad, estabilidad y pasibilidad de control personal y externo) indicadas como fundamentales para la obtención del resultado recordado

Evaluación de las causas (N = 338)	Tipo de resultado	Modalidad practicada			P
		Fútbol (n = 192) M ± DE	Atletismo (n = 100) M ± DE	Esgrima (n = 46) M ± DE	
Locus de causalidad*	Éxito	22,17 ± 13,8	21,28 ± 4,5	19,69 ± 4,09	0,001
	Fracaso	17,42 ± 5,41	15,09 ± 6,94	18,97 ± 3,46	0,000
Estabilidad*	Éxito	14,48 ± 5,1	14,15 ± 4,7	12,19 ± 4,61	0,019
	Fracaso	10,73 ± 5,97	8,8 ± 5,4	10,15 ± 4,62	0,022
Control personal*	Éxito	20,75 ± 4,57	20,46 ± 4,06	19,04 ± 4,12	0,060
	Fracaso	14,07 ± 6,72	11,71 ± 7,21	18,34 ± 4,14	0,000
Control externo*	Éxito	12,36 ± 5,61	9,95 ± 6,03	12,02 ± 5,18	0,003
	Fracaso	16,7 ± 6,33	13,03 ± 6,6	11,65 ± 4,45	0,000

Medias y desviaciones estándar (M ± DE) dadas por los atletas, en función de la modalidad practicada y del tipo de resultado.

*Valores comprendidos entre 3 y 27 (valores más elevados indican percepción de mayor internalidad, estabilidad y pasibilidad de control personal y externo). En negrita, las diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($p \leq 0,05$).

de éxito, el grupo de los jugadores de fútbol clasificó los resultados de manera significativamente más interna (dif. = 2,476, $p = 0,001$), menos inestable (dif. = 2,288, $p = 0,014$) y más controlables por ellos mismos (dif. = 1,706, $p = 0,047$) frente a los esgrimistas. Es curioso constatar que en la dimensión de control personal se verificó, globalmente, homogeneidad entre los tres grupos en estudio; sin embargo, cuando se hace el test *post hoc* y se analizan los pares de grupos, esas mismas diferencias se revelan suficientes para ser consideradas estadísticamente significativas entre los futbolistas y esgrimistas, por lo que se considera, teniendo en cuenta los datos disponibles, que existe heterogeneidad entre los diferentes grupos en esta dimensión y en situaciones de éxito deportivo.

Hay que señalar que también en la dimensión referente al control externo existieron diferencias significativas entre el grupo de fútbol y el de atletismo, aduciendo los futbolistas un mayor control externo que el grupo de atletismo (dif. = 2,414, $p = 0,002$) en la explicación de sus éxitos.

En las situaciones de fracaso, las diferencias entre los grupos son igualmente muy pronunciadas, pues se constata que los jugadores de fútbol clasifican de manera significativamente más interna (dif. = 2,337, $p = 0,003$), menos inestable (dif. = 1,934, $p = 0,016$) y más controlable por ellos mismos (dif. = 2,362, $p = 0,011$) y externo (dif. = 3,678, $p = 0,000$) las causas de sus resultados cuando se comparan con los practicantes de atletismo. A su vez, estos últimos diferían de los esgrimistas, ya que tienen valores significativamente más reducidos en las dimensiones de locus de causalidad (dif. = -3,888, $p = 0,000$) y control personal (dif. = -6,637, $p = 0,000$).

Por último, al comparar a los jugadores de fútbol con los esgrimistas se constata, también, la existencia de diferencias estadísticamente significativas en dos de las dimensiones estudiadas: control personal (dif. = -4,274, $p = 0,000$) y control externo (dif. = 5,056, $p = 0,000$), siendo los jugadores de fútbol quienes tienen valores menores en control personal y, por consiguiente, más referidos a control externo en la explicación de sus fracasos frente a las opiniones de los atletas practicantes de esgrima.

Discusión

En lo que respecta a la modalidad practicada y a su influencia en las atribuciones de causalidad efectuadas por los atletas, cabría la posibili-

dad de suponer que como practicantes de un deporte colectivo, tenderían a diluir la responsabilidad individual en los resultados obtenidos, tanto negativos como positivos, entre los restantes miembros de su propio equipo. Es decir, conjeturamos que los practicantes de deportes colectivos (jugadores de fútbol) considerarían las causas de sus resultados de manera menos interna, más inestable y menos controlables por sí mismos en comparación con los practicantes de deportes individuales (atletismo y esgrima), pues la distribución de la responsabilidad por los resultados del equipo llevaría a una explicación causal más alejada de la esfera personal del atleta, aunque todavía englobada en la vertiente relacionada con su propio equipo.

Las indicaciones de Leary y Forsyth³⁶ apuntan precisamente en este sentido, cuando los autores defienden que en los deportes colectivos la interdependencia funcional de varios miembros del equipo crea en los atletas el sentimiento de que los éxitos o fracasos alcanzados no pueden ser atribuibles solo a factores causales que se asocian al rendimiento de cada atleta.

Esta interdependencia funcional podrá, entonces, equiparar los compañeros del equipo a factores menos internos, más inestables y menos controlables por el propio atleta haciendo posible, así, compartir la responsabilidad por los resultados conjuntos.

Los resultados de este estudio evidencian, en las situaciones de éxito, una clara tendencia de los jugadores de fútbol a clasificar de una manera más interna, menos inestable y más controlable por sí mismos, las causas de sus resultados en comparación con los grupos de deportes individuales (atletismo y esgrima).

Por el contrario, en las situaciones de fracaso, aunque la tendencia de respuesta de los jugadores de fútbol en relación al grupo de atletismo queda inalterable, ya no ocurre lo mismo en relación a los esgrimistas. De hecho, este último grupo clasificó como más interna y más controlable por ellos mismos las causas de sus peores resultados en comparación directa con los jugadores de fútbol, lo que puede sugerir una no responsabilización individual en los practicantes de deportes colectivos (como el fútbol), en el sentido de una tendencia a una ligera dilución de los fracasos del equipo entre los restantes compañeros del grupo de trabajo.

Sin embargo, los resultados de este estudio sólo coinciden con los de investigaciones anteriores cuando se comparan los esgrimistas y jugadores de fútbol en las situaciones de fracaso deportivo. En efecto, un estudio realizado en Portugal por Fonseca¹⁴ con jugadores de voleibol y nadadores y gimnastas (en modalidad individual) confirmó la tendencia que un estudio previo de Tenenbaum y Furst³⁷ había evidenciado: los practicantes de deportes individuales perciben las causas de sus resultados (tanto los éxitos como los fracasos) de una manera más interna, menos inestable y más controlable por sí mismos que los atletas de deportes colectivos.

Una posible justificación para la divergencia verificada entre nuestros resultados y los de estos autores remite al hecho de que, en la sociedad portuguesa, el fútbol está significativamente más arraigado que el voleibol (modalidad usada por Fonseca¹⁴ para representar los deportes colectivos), lo que puede consagrar un mayor "egoísmo atribucional" por parte de los jugadores de fútbol en la explicación de sus éxitos, como resultado de las presiones situacionales a que están sometidos, por ejemplo, la influencia de los órganos de comunicación social y, por tanto, la mayor exposición mediática.

Por otro lado, la idea de la realización de una investigación de este tipo, sugerida hace ya bastante tiempo por varios autores^{37,38}, cuando subrayaron la posibilidad de que el tipo de deporte practicado por los

atletas pudiera ejercer alguna influencia en la manera como estos interpretan sus resultados, deriva, por ejemplo, al comprobar que el número de factores eventualmente envueltos en la obtención de un determinado resultado sea más reducido en unos contextos que en otros.

Así, las características restrictivas de ciertos contextos, en lo que concierne al número de posibles causas influenciadoras de los resultados obtenidos, pueden estar en la base de la estructuración por parte de los interventores de una percepción de mayor contingencia y, por consiguiente, más limitativa, entre sus comportamientos y los resultados alcanzados, que las estructuradas por practicantes de modalidades que se desenvuelven en contextos con características estimuladoras de explicaciones más amplias.

No se conocen estudios atribucionales anteriores que comparen la explicación causal entre atletas de esgrima y atletismo, ni de otras modalidades cuyas características eventualmente se pudieran parecer. Entonces, se entroncan las explicaciones para los resultados obtenidos entre los participantes de estas dos modalidades, en las peculiares y restrictivas características donde se desarrollan las competiciones de esgrima, pues tratándose de una modalidad de acción, considerada como deporte de combate, podrá favorecer la promoción de una tendencia atribucional más interna y controlable por uno mismo por parte de sus practicantes, en situaciones de fracaso deportivo.

Otra posible explicación puede asentar en la comprobación, en el contexto deportivo portugués, de una significativa heterogeneidad, en términos socioeconómicos, entre practicantes de atletismo y esgrimistas, siendo este último grupo proveniente, mayoritariamente, de extractos de población más favorecidos, en comparación directa con los practicantes del atletismo.

Así, una explicación basada en la influencia de aspectos económicos y socioculturales consustanciados, por ejemplo, por la modalidad practicada por los atletas, no deberá faltar en la evaluación del tipo de atribuciones elaboradas por los deportistas.

La carencia de estudios atribucionales con variables independientes relacionadas con el componente socioeconómico de los atletas permite, simplemente, poner esta reflexión que pudiera relacionarse con la explicación diferenciada encontrada entre atletas practicantes de las dos modalidades individuales.

En otro plano del análisis, la mayor responsabilización de los esgrimistas por sus resultados negativos, en comparación con los practicantes de atletismo, puede quedar, también, demostrada en la evaluación de sus respuestas a las dimensiones no causales relativas a la importancia de la competición en que obtuvieron el resultado negativo, así como al grado de dificultad asociado a ese mismo resultado. De hecho, en las dos dimensiones referidas, los esgrimistas dan valores más elevados que los practicantes de atletismo para justificar el resultado encontrado.

Otro conjunto de explicaciones para las diferencias encontradas entre los esgrimistas y practicantes de atletismo en situaciones de fracaso deportivo puede asentar en el hecho de que la modalidad de atletismo es significativamente más mediática y valorada, en términos sociales, en el contexto geográfico donde tuvo lugar el estudio (Portugal), que la esgrima, lo que podrá favorecer una atribución causal más interna en situaciones de éxito y, por consiguiente, más autodefensiva en el caso de los fracasos, por parte de los practicantes de atletismo en comparación con los esgrimistas.

También en esta situación las atribuciones de este tipo efectuadas por el grupo de atletismo buscan proteger los niveles de autoestima reforzando, igualmente, el efecto de deseabilidad social, pues solo de esta manera el impacto de la explicación de los resultados, así como sus im-

plicaciones en el plan motivacional, en lo que respecta a las expectativas de éxito y grado de empeño en situaciones futuras, se podrán mantener inalterables.

En conclusión, la variable "modalidad practicada" parece tener un efecto predictor en la explicación que los deportistas elaboran acerca de los resultados más importantes de sus carreras. Sin embargo, son necesarios más estudios para la comprobación de la tendencia atribucional efectuada por los practicantes de deportes individuales en comparación con la explicación causal enunciada por atletas de deportes colectivos.

Bibliografía

1. Fonseca A. As atribuições causais em contexto desportivos. En: Cruz J, editor. Manual de Psicologia do Desporto. Braga: Sistemas Humanos e Organizacionais; 1996. p. 333-59.
2. Biddle S, Hanrahan S. Attributions and attributional style. En: Duda J, editor. Advances in sport and exercise psychology measurement. Morgantown: FIT, inc; 1998. p. 3-19.
3. Biddle S, Hanrahan S, Sellars C. Attributions: past, present and future. En: Singer R, Hausenblas H, Janelle C, editors. Handbook of Sport Psychology. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons; 2001. p. 444-71.
4. Weiner B. A theory of motivation for some classroom experiences. J Educ Psychol. 1979;71(1):3-25.
5. Weiner B. An attributional theory of motivation and emotion. New York: Springer Verlag; 1986.
6. Guallar A, Balaguer I, Garcia-Merita M. A review of the theoretical basis in the study of attribution in sport. En: Serpa S, Alves J, Ferreira V, Brito AP, editors. Actas del VIII Congreso Mundial de Psicología del Deporte. Lisboa: ISSP, SPPD e FMH; 1993. p. 840-6.
7. Biddle S. Interpreting success and failure. En: Bull SJ, editor. Sport psychology: a self help guide. Ramsbury: The Crowood Press; 2005. p. 70-83.
8. Heider F. Social perception and phenomenal causality. Psychol Rev. 1944;51:358-74.
9. Heider F. The psychology of interpersonal relations. New York: Wiley; 1958.
10. Weiner B. Theories of motivation. Chicago: Rand McNally; 1972.
11. Faria L. Desenvolvimento intra individual das atribuições e dimensões causais durante a adolescência. Psicologia. 1996; XI(2/3):121-37.
12. Brawley LR, Roberts G. Attributions in sport: Research foundations, characteristics and limitations. En: Silva JM, Weinberg RS, editors. Psychological foundations of sport. Champaign, IL: Human Kinetics; 1984. p. 197-213.
13. McAuley E, Duncan T, Russell D. Measuring causal attributions: the revised Causal Dimension Scale II (CDSII). Pers Soc Psychol Bull. 1992;18:566-73.
14. Fonseca A. Percepção de causalidade subjacente aos resultados desportivos. Dissertação apresentada a las pruebas pedagógicas de capacidade científica. Universidade do Porto: FCDEF; 1993. No publicada.
15. Sousa PM, Rosado A, Cabrita T, Lancho JL. Atribuciones causales en el deporte: estudio sobre las diferencias entre la percepción de éxito y fracaso. Apunts-Educación física y deportes. En prensa.
16. Ventura JP, Sousa PM. Da percepção de causalidade em contexto desportivo: um estudo sobre as razões do sucesso e fracasso em atletas de alta competição. Psicologia: Teoria, Investigação e Prática. 2003;8(1):83-113.
17. Boruchovitch E. A study of causal attributions for success and failure in mathematics among Brazilian students. Rev Interamer Psicol. 2004;38(1):53-60.
18. Llorca JAS, Martinez LN, Maicas GS. Las metas de alumnos de eso en educación física: análisis predictivo según las atribuciones. Rev Psicol Gen Apl. 2006;59(3):445-56.
19. Lozano AB, Uzquiano MP, Cadavid MAM. Atribuciones causales y rendimiento académico en alumnos de educación secundaria: un estudio a partir de la subescala de atribuciones causales y multiatribucionales (EACM). Psicologia: Teoria, Investigação e Prática. 2003;8(1):17-30.
20. Fosterling F. Attribution theory in clinical psychology. Chichester, Sussex: Wiley; 1988.
21. Sousa ES, Cunha M, Ribeiro R. Expectativas e padrões de atribuição num processo de seleção. Anál Psicol. 1992;3(X):379-89.
22. Sousa ES. Attribution in the social context: a conceptual analysis. Dissertação apresentada para la colación del grado de Doctor en Psicología. Louvain: Université Catholique de Louvain; 1987. No publicada.
23. Fonseca A. Avaliação de atribuições causais no futebol. En: Serpa S, Alves J, Ferreira V, Brito AP, editores. Actas del VIII Congreso Mundial de Psicología del Deporte. Lisboa: ISSP, SPPD e FMH; 1993. p. 352-5.
24. Fonseca A. A influência do sexo no modo como os atletas percebem os seus resultados desportivos. Psicologia. 1995;10(1-2):31-53.
25. Lau R, Russell D. Attributions in the sports pages. J Pers Soc Psychol. 1980;39:29-38.

26. Orbach I, Singer R, Murphey M. Changing attributions with an attribution training technique related to basketball dribbling. *The Sport Psychologist*. 1997;11:294-304.
27. Si G, Rethorst S, Willimczik K. Causal attribution perception in sport achievement situation. En: Serpa S, Alves J, Ferreira V, Brito AP, editors. *Actas del VIII Congreso Mundial de Psicología del Deporte*. Lisboa: ISSP, SPPD e FMH; 1993.
28. Sousa PM, Rosado A, Cabrita T, Lancho JL. Análise das atribuições causais do sucesso e do insucesso na competição, em função do nível competitivo dos futebolistas portugueses. *Psicologia: Reflexão e Crítica*. 21(2):203-11. En prensa.
29. Zsheliaskova-Koynova Z. Causal attributions for success and failure in elite orienteers. *Sci J Orienteering*. 1991;7:57-73.
30. Lee YT, Seligman ME. Are the Americans more optimistic than the Chinese? *Pers Soc Psychol Bull*. 1997;23:32-40.
31. Biddle S. Motivation and participation in exercise and sport. En: Serpa S, Alves J, Pataco V, editors. *International perspectives on sport and exercise psychology*. Morgantown, WV: Fitness Information Technology, Inc; 1994. p. 103-26.
32. Nunnally JC. *Psychometric theory*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill; 1978.
33. Fonseca A, Maia J. Avaliação das propriedades psicométricas de um instrumento psicológico, a CDSIIp, a partir da abordagem do LISREL. En: Almeida L, Ribeiro I, org. *Avaliação psicológica: formas e contextos*. Vol. 2. Braga: APPORT; 1994. p. 35-42.
34. Fonseca A, Maia J. Escala de Dimensões Causais II (CDSIIp). En: Almeida L, Simões M, Gonçalves M, editores. *Provas psicológicas em Portugal*. Vol. 1. Braga: APPORT; 1995. p. 103-24.
35. Russell D. The Causal Dimension Scale: a measure of how individuals perceive causes. *J Pers Soc Psychol*. 1982;42(6):1137-45.
36. Leary MR, Forsyth DR. Attributions of responsibility for collective endeavours. En: Hendrick C, editor. *Group processes*. Newberry Park, CA: Sage; 1987. p.167-88.
37. Tenenbaum G, Furst D. The relationship between sport achievement responsibility, attribution and related situational variables. *Int J Sport Psychol*. 1985;16:254-69.
38. Kimiecik JC, Duda JL. Self-serving attributions among children in a competitive sport setting: some theoretical and methodological considerations. *J Sport Behav*. 1985;8(2):78-91.



Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Rev Andal Med Deporte. 2008;1(3):116-24

www.elsevier.es/ramd



Revisión

Índice glucémico y ejercicio físico

J. Marcelo Fernández, J. López Miranda y F. Pérez Jiménez

Unidad de Lípidos y Arteriosclerosis. Hospital Universitario Reina Sofía. Córdoba. España.

Historia del artículo:

Recibido el 1 de julio de 2008

Aceptado el 15 de agosto de 2008

Palabras clave:

Índice glucémico.

Respuesta glucémica.

Rendimiento deportivo.

Oxidación de sustratos.

Carbohidratos glucémicos.

Key words:

Glycemic index.

Glycemic response.

Sports performance.

Oxidation of substrates.

Glycemic carbohydrates.

RESUMEN

El índice glucémico (IG) fue originalmente concebido para clasificar los alimentos ricos en carbohidratos según su impacto fisiológico sobre la glucemia postprandial. Su utilidad en el tratamiento dietético de la diabetes se amplió rápidamente a otras áreas de la nutrición clínica, la salud pública y la nutrición deportiva. Debido a la importancia de los carbohidratos (CHO) en la fisiología del ejercicio y al consumo prioritario de alimentos basados en este nutriente, el concepto de IG puede ser utilizado en nutrición deportiva con un grado aceptable de efectividad. En los últimos años, un creciente número de investigaciones ha mostrado cómo el IG puede modular la respuesta fisiológica y el rendimiento de un ejercicio físico. Sin embargo, la gran variabilidad metodológica de los estudios disponibles dificulta la obtención de un consenso claro sobre la selección de CHO usando el IG. Por ello, esta revisión se centra en los efectos que ejerce la respuesta glucémica (RG) en las diferentes fases fisiológicamente sensibles a los CHO, alrededor de la práctica del ejercicio físico. Tal como el IG podría ayudar a la población a realizar una "selección saludable" de alimentos, en nutrición deportiva la selección de CHO de alto y bajo índice glucémico (AIG y BIG, respectivamente) podría favorecer el rendimiento deportivo y/o los objetivos de salud del ejercicio físico. Las evidencias actuales acerca del IG de los CHO en el ejercicio físico, así como la necesidad de futuros estudios, con una metodología estandarizada de investigación, son discutidas en la presente revisión.

© 2008 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

ABSTRACT

Glycemic index and physical exercise

The glycemic index (GI) was originally conceived to classify carbohydrate-rich foods according to the physiological impact on post-prandial glycemia. Its utility in dietary treatment of diabetes rapidly extended to other areas of clinical nutrition, public health and sports nutrition. Due to the importance of carbohydrates (CHO) in the physiology of exercise and priority consumption of foods based on this nutrient, the concept of GI may be used in sports nutrition with an acceptable grade of effectiveness. In recent years, a growing number of investigators have shown how GI may modulate the physiological response and performance of a physical exercise. However, the great methodological variability of the available studies hinders the obtaining of a clear consensus on the selection of CHO using GI. Thus, this review focuses on the effects that the glycemic response (GR) has on the different phases that are physiologically sensitive to CHO, on the practice of physical exercise. Just as GI may help the population to make a "healthy selection" of foods, in sports nutrition, the selection of CHO having high and low glycemic index (HGI and LGI, respectively) could favor the sports performance and/or objectives of health of physical exercise. The current evidence on GI of CHO in physical exercise and the need for future studies, with a standardized research methodology, are discussed in the present review.

© 2008 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

Correspondencia:

J. Marcelo Fernández.

Unidad de Lípidos y Arteriosclerosis. Servicio de Medicina Interna.

Hospital Universitario Reina Sofía.

Av. Menéndez Pidal, s/n.

14004 Córdoba. España.

Correo electrónico:

juf_nutryinves@yahoo.com

Introducción

Debido a la facilidad de transporte y difusión de la glucosa hacia los tejidos metabólicamente activos, la ingesta de carbohidratos (CHO) tiene una importancia clave para suplir las demandas energéticas generadas por el ejercicio¹. Se ha demostrado que la suplementación con CHO mejora el rendimiento físico, prolongando la duración del ejercicio antes de alcanzar la fatiga², incrementando la potencia muscular³, así como el estado cognitivo y el nivel de vigilia durante un ejercicio de larga duración⁴. La duración del esfuerzo es la variable, inherente al ejercicio, más determinante para la mejora del rendimiento a través de la ingesta de CHO. Sin embargo, periodos cortos de ejercicio de alta intensidad (> 75% del consumo máximo de oxígeno), con un metabolismo predominantemente glucolítico, también se benefician de este nutriente⁵, especialmente después de un ejercicio de larga duración, como es el caso de los llamados "sprints finales"^{6,7}.

El término "índice glucémico" (IG) apareció por primera vez en 1981 como una clasificación fisiológica para la selección de los CHO dietéticos en el tratamiento de la diabetes⁸. Actualmente, el IG se define como el efecto que tiene un CHO glucémico, en una comida determinada, sobre la glucosa sanguínea, expresado como un porcentaje del efecto provocado por una cantidad igual de glucosa u otro CHO patrón. Aunque su verdadero interés científico ha surgido en los últimos 10 años, desde su aparición, este concepto no ha dejado de tener promotores y detractores en relación a su aplicación en nutrición clínica^{9,10}. La nutrición deportiva no es la excepción en esta controversia. Sin embargo, debido a que las demandas energéticas del ejercicio son habitualmente cubiertas mediante la ingesta de CHO simples, es decir CHO no incluidos en una matriz alimentaria compleja, la aplicabilidad de este concepto se muestra importantemente favorecida, a diferencia de lo que ocurre en condiciones de reposo, donde uno de los principales problemas que plantea el uso del IG es su capacidad relativa para predecir el impacto glucémico real, provocado por una comida mixta¹¹.

Recientemente, un gran número de estudios ha investigado, directa o indirectamente, los efectos del IG de los alimentos sobre las variables de rendimiento deportivo en diferentes protocolos de ejercicio físico; sin embargo, existe entre ellos una amplia variabilidad acerca del momento de la ingesta de los CHO evaluados. Por ello, en la presente revisión analizaremos las evidencias que muestran estos estudios, según el momento de la suplementación en las tres fases fisiológicas relacionadas con el ejercicio y con las necesidades de CHO. Estas fases y sus principales objetivos en términos de rendimiento deportivo son: a) antes del ejercicio, para reforzar las reservas de glucógeno e iniciar el ejercicio con una glucemia normal^{12,13}; b) durante el ejercicio, para incrementar la oxidación de CHO exógenos preservando el glucógeno para retrasar la fatiga^{14,15}, y c) después del ejercicio, para restituir las reservas de glucógeno e incluso para incrementarlas^{16,17}. Otros efectos relacionados con las variables metabólicas e inmunitarias en relación al ejercicio han sido reportados a partir de diferentes CHO glucémicos y se discuten también en esta revisión.

El índice glucémico: breve reseña y estado actual

El interés por medir el impacto de los CHO ingeridos sobre las concentraciones plasmáticas de glucosa, y su relación con la salud de las poblaciones, surgió inicialmente con la hipótesis de la fibra dietética propuesta por Burkitt y Trowell (1975). Estos investigadores postularon, tras varios años de servicio médico en poblaciones rurales de África, que

existía una relación directa entre el contenido de fibra de la dieta de estas poblaciones y la ausencia de varias enfermedades típicamente prevalentes en occidente, como la diabetes y las patologías cardiovasculares¹⁸. El descubrimiento en los años setenta del mecanismo por el cual la fibra influenciaba la ocurrencia de estas patologías¹⁹⁻²¹ condujo al desarrollo del concepto de IG, inicialmente aplicado en el tratamiento de la diabetes. Desde entonces, diferentes grupos de investigación alrededor del mundo investigaron el efecto glucémico de diferentes alimentos²²⁻²⁵. Las investigaciones realizadas en la década de los noventa por estos y otros grupos²⁶⁻²⁸ ampliaron el conocimiento de la respuesta glucémica (RG) y condujeron a la validación científica del concepto de IG.

Actualmente, el IG es definido como el área incremental bajo la curva de respuesta de glucosa sanguínea provocada por la ingesta de 50 g de CHO disponibles en una porción alimentaria, y expresada como un porcentaje de la respuesta a 50 g de glucosa anhidra en el mismo individuo²⁹. Esta definición parece clara e incluso resulta simplista, sin embargo, diferentes problemas metodológicos surgen en la obtención de los valores de IG y por lo tanto en la aplicabilidad de este concepto. Esto es debido a que una gran variedad de factores afectan la RG real de los alimentos y las comidas (tabla 1). Posiblemente la estandarización del método usado para conocer el IG de los alimentos o comidas es el mayor problema extrapolado al uso y precisión del IG para clasificar a los CHO. Aun así, excelentes revisiones han sido recientemente publicadas en la literatura científica, con el objetivo de aportar recomendaciones metodológicas para la estandarización de las investigaciones sobre el IG²⁹⁻³¹.

El índice glucémico y la ingesta de carbohidratos antes del ejercicio

Un importante número de estudios ha analizado el efecto del consumo de CHO con alto o bajo IG (AIG o BIG, respectivamente) antes de realizar un ejercicio físico, sobre la respuesta metabólica y el rendimiento deportivo en sujetos físicamente entrenados. DeMarco et al³³ investigaron, en 10 ciclistas entrenados, el efecto de una comida de AIG: 69 (cereales, plátano y leche), una de BIG: 36 (cereales *All Bran*, manzana y yogurt edulcorado) o únicamente agua, 30 minutos antes de pedalear dos horas (70% $VO_{2máx}$), y realizar después un pedaleo final hasta la fatiga (100% $VO_{2máx}$). En este estudio, los autores reportaron un incremento del 59% en el tiempo de pedaleo hasta la fatiga y una reducción de la percepción del esfuerzo, que fueron asociados a una mayor glucemia durante el ejercicio, después de la ingesta de la comida con BIG. Resultados semejantes habían sido mostrados previamente por un estudio realizado por Thomas et al, quienes compararon el efecto de la ingesta de un alimento con un IG = 19 frente a otro con un IG = 98³⁴.

La principal hipótesis de estos investigadores para explicar la mejora del rendimiento tras la ingesta de CHO de BIG fue que el mantenimiento de un nivel fisiológicamente mayor de glucemia podría proporcionar energía de forma más estable durante el ejercicio de larga duración. Tanto DeMarco et al como Thomas et al propusieron que los niveles de glucemia, al final del ejercicio de larga duración, se correlacionan negativamente con el IG de los alimentos ingeridos antes del esfuerzo. Una diferencia de 10 unidades en el IG de los alimentos ingeridos fue asociada con una diferencia de más de 3,5 mg/dl de glucosa al final del ejercicio³⁵. Una disponibilidad más estable de glucosa para un músculo con escasa capacidad de almacenamiento de glucógeno significaría un incremento en la capacidad de trabajo y una menor dependencia de las reservas hepáticas de glucógeno³⁶. Adicionalmente, también se propuso que una mayor estimulación insulínica, inducida por los CHO de AIG,

Tabla 1
Factores que afectan la respuesta glucémica en el estudio del índice glucémico de alimentos o comidas

	Factor	Ejemplo de variación que influye	RG e IG
Ubicación	Pared celular y estructura del almidón	Grado de maduración	Incrementa con la maduración
	Estructura granular del almidón	Calentamiento	Incrementa con la gelatinización
	Contenido de amilasa y amilopectina	La amilopectina es más fácilmente digerible que la amilosa	Disminuye con mayor contenido de amilosa
Alimento	Contenido de fibra gelificante	Adición industrial de fibra gelificante	Disminuye
	Ácidos orgánicos: ej. acético	Adición de ácidos	Disminuye
	Composición en monosacáridos	Tipo de azúcares agregados: ejemplo <i>ratio</i> glucosa/fructosa	Disminuye con el contenido de fructosa
	Contenido de almidón resistente	Ciclos de calentamiento-enfriamiento	Indiferente cuando se prueban cantidades iguales de CHO disponibles
Humano	Estado de salud	Diabetes, insulino-sensibilidad y tolerancia a la glucosa	Disminuye la precisión, sólo si existe variabilidad inter-individual.
	Estado de entrenamiento	Estudios sin control de los hábitos de ejercicio físico	Incrementa con el nivel de entrenamiento
Metodología de estudio	Tamaño muestral	Estudios con reducido número de sujetos	Disminuye la sensibilidad a la detección de diferencias
	Número de pruebas	Estudios con una sola prueba experimental	Incrementa la variabilidad en la respuesta al patrón y al alimento o comida probada
	Modelo matemático, cálculo de AUC	Modelos: AUC total, AUC incremental cortada, AUC incremental, AUC incremental neta, etc.	Incrementa la variabilidad de resultados

Adaptada de Arvidsson-Lenner et al³².

AUC: área bajo la curva; CHO: carbohidrato; IG: índice glucémico; RG: respuesta glucémica.

podría incrementar la velocidad de depleción del glucógeno hepático al inhibir el aporte de los ácidos grasos al sustrato oxidativo durante el ejercicio³⁷. Por ello, un CHO de BIG podría ayudar a preservar en el tiempo las reservas hepáticas de glucógeno, que subsecuentemente se usarían en la generación de energía durante los segmentos finales del ejercicio, evitando además el riesgo de una hipoglucemia fisiológica reactiva, como ocurre con los CHO de AIG³⁸.

Sin embargo, en años posteriores varios estudios fueron publicados sin aportar ninguna evidencia de mejora en el rendimiento deportivo por alimentos de BIG³⁹⁻⁴¹. Estas discrepancias podrían ser atribuidas a las diferencias metodológicas entre los estudios realizados, más que a las diferencias en los CHO probados, que normalmente fueron: puré de patatas, lentejas y plátano, entre otros. Posiblemente la duración del periodo digestivo en reposo antes del inicio del ejercicio, junto con diferencias en los protocolos de ejercicio, hayan creado disparidades en el “escenario metabólico” en el que se obtuvieron los diferentes resultados. Así, por ejemplo, los estudios que mostraron una mejora del rendimiento^{33,34} también hallaron, al final del ejercicio, claras diferencias en la glucemia provocada por los diferentes alimentos glucémicos. En estos estudios, los CHO fueron ingeridos entre 30 y 45 minutos antes del ejercicio, y aunque la glucemia se incrementó rápidamente tras los CHO de AIG, luego disminuyó y fue menor que en los de BIG, especialmente al final del ejercicio. Contrariamente, en los estudios que no reportaron diferencias en los niveles de glucemia a lo largo del ejercicio entre los CHO de BIG y AIG, tampoco se mostró una mejora del rendimiento deportivo³⁹⁻⁴¹. Además, es importante resaltar que en estos últimos estudios el tiempo de reposo después de la ingesta de los CHO, antes del inicio del ejercicio, fue de más de una hora.

Las evidencias de que la mejora del rendimiento sólo ocurre cuando se logra reducir la RG provocada por los CHO antes del ejercicio fueron posteriormente reforzadas por otros estudios^{42,43}, que compararon el efecto de la ingesta de CHO de moderado índice glucémico (MIG) con CHO de AIG. Por otra parte, independientemente de la influencia del IG sobre el rendimiento deportivo, todos los estudios antes mencionados mostraron un hallazgo común durante el ejercicio: una comida de BIG antes del ejercicio modifica la utilización metabólica de sustratos, desde el uso predominante de CHO hacia una mayor utilización de grasas.

El índice glucémico y la ingesta de carbohidratos durante el ejercicio

El incremento del rendimiento deportivo en ejercicios con una duración mayor a 45 minutos es el principal fundamento de la ingesta continua de CHO durante el esfuerzo^{36,44}. La capacidad de mantener la glucemia e incrementar la oxidación de CHO por parte del músculo sería la explicación fisiológica de esta mejora de la capacidad de trabajo. Además, el ahorro del glucógeno muscular es otro posible fenómeno asociado a la mejora del rendimiento⁴⁵, aunque esto ha sido recientemente discutido por varios estudios que muestran que una mayor oxidación total de CHO tras el suplemento continuo también se acompaña de un aumento en la oxidación del glucógeno almacenado^{46,47}.

Sin embargo, pocos estudios han investigado el efecto diferencial de la ingestión continua de CHO de AIG o BIG sobre el rendimiento deportivo. Massicotte et al⁴⁸ no observaron diferencias en la oxidación total de CHO, ni en la participación de los ácidos grasos al sustrato energético, durante un ejercicio de prolongada duración (120 min; 58% VO_{2máx}) cuando se suplementó de forma fraccionada con 100 g de glucosa, o 50 g de glucosa más 50 g de fructosa, o 100 g de sacarosa. Estos investigadores tampoco hallaron diferencias en el rendimiento deportivo entre los diferentes suplementos glucémicos. En otro estudio realizado por Earnest et al⁴⁹ se examinó el efecto de la ingestión continua de miel (IG = 35), o dextrosa (IG = 100), o una solución placebo, en 9 sujetos que simulaban un carrera de 64 km contrarreloj en un cicloergómetro. Estos investigadores observaron una mejora en el tiempo de recorrido cuando los sujetos consumieron CHO durante el ejercicio que cuando no lo hicieron, pero no observaron ninguna diferencia entre los CHO probados. Sin embargo, los resultados de este estudio deben ser interpretados con cautela debido al reducido tamaño muestral y al uso de dextrosa, un CHO compuesto por proporciones semejantes de glucosa y fructosa, ambos con una diferente vía de metabolización y comportamiento posprandial.

En ausencia de nuevas evidencias, la recomendación general continúa siendo la de ingerir CHO de AIG durante el ejercicio debido a su disponibilidad y fácil digestión. Además, un estudio publicado por Burke et al⁵⁰ demostró que la ingesta continua de CHO de AIG (1 g/min) durante un ejercicio de moderada intensidad y larga duración puede eliminar

las diferencias iniciales en la glucemia e insulinemia estimuladas por la ingesta previa de CHO de alto o bajo IG. Este hallazgo podría, por lo tanto, restar importancia a la controversia sobre la selección de CHO de alto o bajo IG antes del ejercicio, al menos para aquellos esfuerzos de larga duración, aunque son necesarios otros estudios al respecto.

El índice glucémico y la síntesis de glucógeno tras el ejercicio

Se ha sugerido que la síntesis de glucógeno posterior a la depleción muscular inducida por un ejercicio ocurre principalmente en dos fases⁵¹. En la primera de ellas (primeros 30 a 60 minutos después del ejercicio) la síntesis de glucógeno es independiente de la presencia de insulina y se ve favorecida por los siguientes mecanismos: a) un incremento de la permeabilidad de la membrana del miocito a la glucosa⁵²; b) una elevada translocación de los transportadores GLUT4⁵³, y c) una activación simultánea de la glucógeno sintetasa muscular⁵⁴. Por el contrario, la segunda fase de síntesis (después de la primera hora de finalizado el ejercicio) es dependiente de los niveles de insulina y se caracteriza por una síntesis glucogénica entre un 10 a un 30% menor que la producida en la fase uno⁵¹. Según estas evidencias, podemos entender que la selección de la comida posterior al ejercicio o competición depende de la duración e intensidad del esfuerzo realizado, en otras palabras, de si ocurrió o no una significativa depleción glucogénica. Además, la frecuencia, característica glucémica e ingesta total de CHO para acelerar la síntesis glucogénica, será diferencialmente determinada por la proximidad o no de un nuevo esfuerzo o competición.

En aquellos atletas que compiten de forma repetida en un corto periodo de tiempo resultaría fundamental la ingesta aguda de CHO de AIG en la primera fase de síntesis de glucógeno; y de ser posible también en las horas subsiguientes. Es evidente que en esta primera fase de restitución, dicha selección no se fundamenta en el estímulo que estos CHO producen sobre las células β del páncreas, sino en la velocidad de absorción y en su capacidad de difusión hacia el tejido muscular. Un consumo inmediato y fraccionado de 1,5 g de CHO/kg de peso corporal es actualmente recomendado para lograr una rápida resíntesis de glucógeno⁵⁵.

Sin embargo, en la mayoría de los casos, el deportista tiene uno o más días de recuperación antes de un nuevo esfuerzo, por lo cual forzar una ingesta aguda y fraccionada de CHO carece de relevancia, y es la dieta en las 24 horas posteriores al ejercicio^{56,57} la que merece consideraciones especiales. En este sentido, Burke et al demostraron que tras un protocolo de depleción glucogénica con un ejercicio extenuante, la ingesta de una dieta de AIG produce una mayor reposición de glucógeno muscular al cabo de 24 horas que aquella que, aportando la misma cantidad total de CHO, tiene un BIG⁵⁸. Además, debido a que la diferencia en el almacenamiento de glucógeno fue mayor que la diferencia en la RG e insulinémica entre las comidas con AIG y BIG, estos investigadores propusieron que otros mecanismos, como la velocidad de absorción de los CHO, podrían también explicar la menor reposición tras los CHO de BIG. Por ello, los mismos investigadores⁵⁹ compararon posteriormente el efecto de la ingesta de CHO de AIG en dos tipos de ingesta diaria: a) en 4 grandes bolos, o b) en bolos pequeños y frecuentes que se usaron para imitar una absorción lenta y sostenida, como ocurriría con CHO de BIG. Tras 24 horas de este protocolo de reposición no se hallaron diferencias en la cantidad de glucógeno almacenado, y por lo tanto se descartó la influencia de la velocidad de presentación de los CHO absorbidos sobre la efectividad muscular para reponer el glucógeno.

Hasta la fecha, los mecanismos involucrados en la mejora de la síntesis de glucógeno mediada por los CHO de AIG son aún solo parcialmente

comprendidos. Se ha propuesto que los CHO de BIG estimulan una insulinemia estable, lo cual reduce la disponibilidad de ácidos grasos y obliga a la oxidación de parte de los CHO ingeridos, reduciendo la efectividad de almacenamiento en comparación con los de AIG⁶⁰. Además, es posible que otros factores independientes del efecto glucogénico del CHO de AIG puedan también intervenir en la mejor repleción glucogénica después del ejercicio. En este sentido, existe evidencia de que la RG posterior a la ingesta de CHO de AIG se relaciona inversamente con el tiempo transcurrido hasta una nueva ingesta alimentaria inducida por el apetito^{61,62}, lo cual en condiciones de recuperación al ejercicio podría favorecer que el atleta ingiera una cantidad suficiente de CHO para la resíntesis y supercompensación de glucógeno. En cualquier caso, resulta necesario considerar que una elevada ingesta de CHO de AIG para inducir una mayor síntesis de glucógeno es una medida que disminuye su efectividad en el transcurso del tiempo, por lo que este tipo de protocolos debiera reservarse para cuando una síntesis máxima de glucógeno sea clave en el logro de los objetivos deportivos. Además, un moderado incremento del contenido de glucógeno muscular puede ser logrado en deportistas, al menos por un periodo de 30 días, con una dieta que incluya cantidades normales de alimentos de AIG⁶³.

El índice glucémico y la respuesta inmunitaria inducida por el ejercicio

Es bien conocido que la suplementación con CHO antes y durante un ejercicio de prolongada duración provoca una reducción del estrés metabólico inducido por el esfuerzo. Este fenómeno es demostrado por una menor secreción de cortisol cuando el ejercicio es realizado en condiciones de disponibilidad exógena de CHO⁶⁴. Además, se ha reportado una reducción de la respuesta inflamatoria mediada por citoquinas tras el incremento de la disponibilidad de CHO antes de un esfuerzo prolongado^{65,66}. Sin embargo, existe un conocimiento limitado acerca del efecto del IG de los CHO ingeridos sobre la respuesta inmunitaria aguda inducida por el ejercicio. En un reciente estudio realizado por Chen et al⁶⁷ se investigó la respuesta inmunitaria aguda inducida tras correr 21 km en un tapiz rodante y su relación con el IG de la comida previa al ejercicio. Estos investigadores hallaron una reducción en los niveles de cortisol durante el ejercicio y una menor respuesta inmunitaria mediada por la interleucina 6 cuando una comida de AIG fue sustituida por una de BIG antes de realizar el esfuerzo. El hecho de que una mayor oxidación de glucógeno durante el ejercicio conduzca a un menor ahorro del mismo, tras la ingesta de CHO de AIG⁶⁸, sustenta la hipótesis de que los CHO de BIG tienen un efecto contrario, provocando un menor estrés metabólico e inmunitario al evitar un agotamiento precoz del glucógeno. Sin embargo, serán necesarios futuros estudios para reforzar estos primeros hallazgos sobre la reducción de la respuesta inflamatoria cuando un ejercicio es realizado tras la ingesta de CHO de BIG.

El índice glucémico y la respuesta metabólica durante el ejercicio

Incrementar la tasa de oxidación lipídica es una prioridad para aquellas personas que combinan un tratamiento dietético y un programa de ejercicio físico, con el objetivo de reducir masa grasa y mejorar su situación metabólica. Es bien conocido que la utilización de sustratos durante un ejercicio predominantemente lipolítico es modulado exógenamente por el control autonómico y endocrino, en respuesta al tipo y cantidad de CHO ingeridos antes del ejercicio¹. Durante este, un aumento significativo de la glucemia conduce a un fenómeno llamado simpato-lisis funcio-

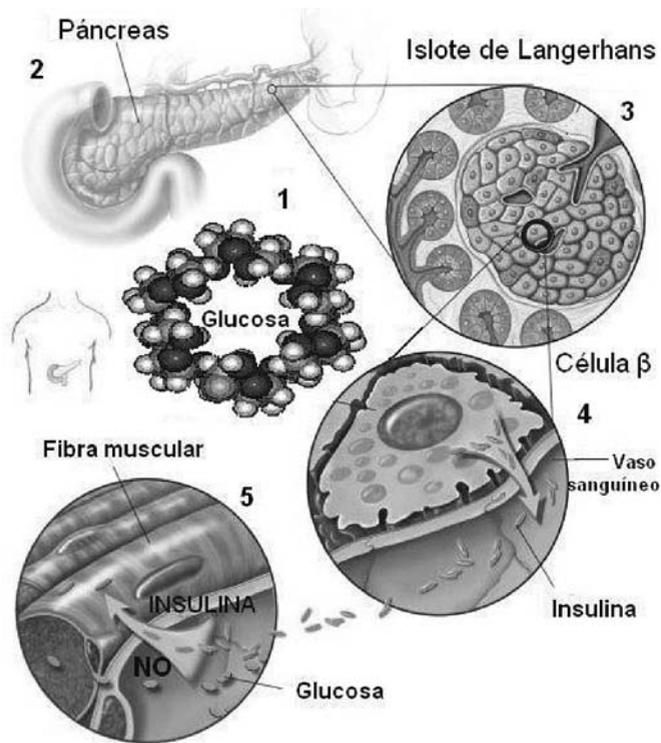


Fig. 1. Respuesta insulínica y distribución periférica de la glucosa mediada por insulina y óxido nítrico (NO).

nal, que involucra la atenuación β -adrenérgica y un aumento del estímulo α -adrenérgico vagal, lo que da paso a la distribución de la glucosa a través de la vasodilatación mediada por la insulina y el óxido nítrico, para su subsiguiente oxidación⁶⁹⁻⁷¹ (fig. 1). Por el contrario, una glucemia menor y una baja insulinemia durante el ejercicio provocan una reducción del estímulo α -adrenérgico vagal, favoreciendo la estimulación β -adrenérgica para un incremento de la lipólisis⁷² y el uso selectivo de sustratos durante el ejercicio lipolítico⁷²⁻⁷⁴.

Varios estudios sobre rendimiento deportivo han mostrado un incremento de la oxidación de grasas durante el ejercicio cuando se comparó la ingesta de CHO de BIG antes del ejercicio con aquellos de AIG^{34,40,41}. La ingesta de una comida mixta de BIG 3 horas antes de realizar una sesión de ejercicio también ha mostrado una mejora de la disponibilidad de ácidos grasos libres en sangre y del perfil oxidativo durante el ejercicio^{75,76}. Sin embargo, solo dos estudios han investigado la relación entre el IG y la lipólisis inducida por el ejercicio en mujeres sanas, un grupo de la población que frecuentemente combina estrategias dietéticas con ejercicio físico. En el primero de ellos⁷⁷, 6 mujeres saludables, pero no entrenadas, completaron tres sesiones de ejercicio de baja intensidad (1 hora de caminata al 50% $VO_{2\text{máx}}$), 3 horas después de consumir agua, o una comida de AIG, o una de MIG (resultante de la combinación de alimentos de AIG y BIG). Aunque fue observada una menor concentración insulínica durante el ejercicio realizado tras la comida de MIG, no se hallaron diferencias significativas en la oxidación de sustratos con la comida de AIG. Estos autores sugirieron que la escasa diferencia en la RG entre ambas comidas (MIG y AIG), así como el reducido tamaño muestral, podrían haber sido la causa de estos resultados. Sin embargo, en el segundo estudio, Stevenson et al⁷⁸ estudiaron, en mujeres moderadamente entrenadas, el efecto de dos comidas mixtas con mayor diferencia glucémica (AIG y BIG) sobre un ejercicio moderado (1 hora de trote al 70% $VO_{2\text{máx}}$) realizado 3 horas después de la ingesta. Aunque la oxidación

de grasas fue significativamente menor y la oxidación de CHO mayor durante el periodo posprandial de reposo tras la comida de AIG, no se hallaron diferencias en la utilización de sustratos durante el ejercicio.

En ambos estudios resulta lógico pensar que la ausencia de un efecto direccional de las comidas sobre la oxidación de sustratos podría deberse a factores metodológicos. Probablemente la utilización de un prolongado periodo de reposo posprandial (3 horas) antes de realizar el ejercicio puede haber evitado que la respuesta glucémica e insulínica coincidiera con el estímulo lipolítico de los ejercicios. En este sentido, en un reciente estudio publicado por nuestro grupo⁷⁹, la ingesta de glucosa más fructosa, 15 minutos antes de realizar un ejercicio aeróbico (30 minutos al 70% $VO_{2\text{máx}}$), provocó una mayor insulinemia durante el ejercicio, que se acompañó de una menor secreción de adrenalina y una reducida disponibilidad de ácidos grasos libres en sangre, en comparación con la ingesta de un suplemento único de glucosa.

Otro factor de gran importancia en la interacción RG-oxidación de sustratos podría ser el nivel de entrenamiento de los sujetos estudiados. En un reciente estudio Mettler et al⁸⁰ investigaron la influencia del estado de entrenamiento sobre la RG a 50 g de CHO aportados por una ración de cereales para desayuno o por glucosa anhidra. Estos autores hallaron que el IG obtenido varió significativamente (23 unidades de IG) entre los sujetos altamente entrenados y aquellos que fueron sedentarios. Aunque en los moderadamente entrenados se halló un IG intermedio, este no se diferenció significativamente del obtenido en los otros dos grupos. Por ello, es posible que el efecto de una comida de BIG antes del ejercicio sea más favorable para aquellas personas con un programa sistemático de entrenamiento y un buen acondicionamiento físico, o que la reducción del estímulo lipolítico observada tras una comida de AIG se inactive a medida que el nivel de entrenamiento del individuo se incrementa.

La fructosa y el índice glucémico en el ejercicio

La fructosa es un monosacárido de bajo IG (IG = 23), que frecuentemente ha sido estudiado como un suplemento ergogénico en condiciones de ejercicio. Se ha observado que su ingesta puede mejorar el rendimiento deportivo, mientras que a diferencia de la glucosa, no induce hipoglucemia reactiva⁸¹. El bajo IG de la fructosa se debe principalmente a que después de su metabolismo hepático, solo una pequeña proporción es liberada como glucosa en la circulación sistémica^{82,83}. Otros productos metabólicos de la conversión hepática de la fructosa son el ácido láctico, ácidos grasos libres y aminoácidos⁸⁴ (fig. 2).

Por otra parte, la fructosa no es completamente absorbida, incluso en personas sanas⁸⁵, lo que explica la ocurrencia de distrés gastrointestinal^{86,87} y, en condiciones de ejercicio físico, limita su uso como un sustitutivo total de los CHO de AIG. Al respecto, se ha demostrado que su digestibilidad y absorción mejora significativamente, en condiciones de reposo y ejercicio, a través de su combinación con diferentes proporciones de otros CHO glucémicos, como la glucosa^{88,89}. Estudios recientes reportaron una mejora del rendimiento deportivo, dependiente de la tasa de oxidación de CHO exógenos, cuando una dosis de fructosa fue combinada con glucosa e ingerida durante un ejercicio aeróbico^{90,91}. Sin embargo, existen pocos reportes sobre la respuesta glucémica e insulínica provocada por la combinación de CHO de AIG y fructosa (tabla 2).

El mayor conocimiento hasta la fecha existe a partir de estudios realizados en reposo, en los que la fructosa redujo la respuesta glucémica e insulínica a CHO de AIG, tanto en modelos animales como en humanos^{92,95,97}. Este efecto de interacción glucosa-fructosa sobre la RG en re-

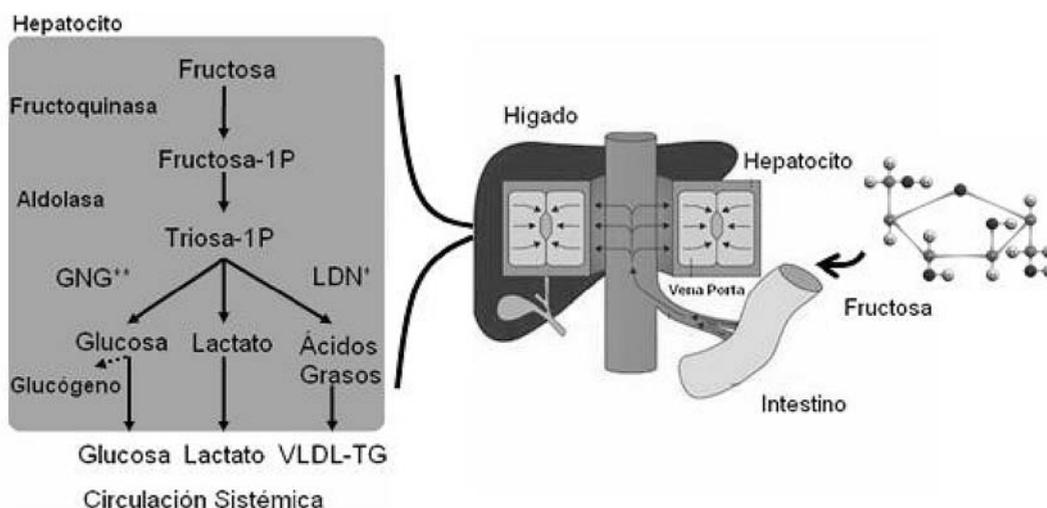


Fig. 2. Destino metabólico de la fructosa ingerida. GNG: gluconeogénesis; LDN: lipogénesis *de novo*; TG: triglicéridos; VLDL: lipoproteínas de muy baja densidad.

Tabla 2

Efecto de la adición de fructosa o de la sustitución de una parte del carbohidrato de alto índice glucémico por fructosa, sobre la respuesta glucémica resultante

CHO de AIG	Fructosa (% adición o sustitución)	Vía de administración	Modelo de estudio	Cambio glucémico (AUC o pico glucémico)	Referencia
Glucosa: 75 g	Adición: 7,5 g (10%)	Ingesta oral	Humano; reposo: 11 voluntarios sanos	Reducción AUC: 19%	Moore et al ⁹²
Glucosa: 75 g	Adición: 7,5 g (10%)	Ingesta oral	Humano; reposo: 5 pacientes con diabetes tipo 2	Reducción AUC: 14%	Moore et al ⁹³
Glucosa: 44 μmol/kg/min	Adición: 2,2 μmol/kg/min (5%)	Infusión intraportal	Animal sano; reposo: n = 9	Reducción pico glucémico: 13,5%	Shiota et al ⁹⁴
Almidón: 50 g (puré de patatas)	Adición: 10 g (20%)	Ingesta oral, 60 y 30 min antes del alimento amiláceo	Humano; reposo: 31 voluntarios sanos	Reducción AUC: 25-27% respecto al tiempo de ingesta	Heacock et al ⁹⁵
Glucosa: 36,1 μmol/kg/min	Adición: 2,2 μmol/kg/min (6%)	Infusión intraportal	Animal sano; reposo: n = 10	Reducción pico glucémico: 33,9%	Shiota et al ⁹⁶
Glucosa: 1 g/kg o maltodextrina: 1 g/kg	Adición: 0,16 g/kg (16%)	Ingesta oral	Modelo animal de diabetes tipo 2; reposo: n = 10	Reducción AUC: 34% para glucosa y 32% para maltodextrina	Wolf et al ⁹⁷
Glucosa: 1,5 g/kg	Sustitución: 0,75 g/kg (50%)	Ingesta oral	Humano; ejercicio: 12 niños sanos	Reducción pico glucémico: 15,3%	Riddell et al ⁹⁰
Glucosa: 1,8 g/min/120 min	Sustitución: 0,6 g/min/120 min (33%)	Ingesta oral	Humano; ejercicio: 8 voluntarios sanos	Sin diferencia en pico glucémico	Jentjens et al ⁹¹
Glucosa: 1,5 g/min/120 min	Sustitución: 0,5 g/min/120 min (33%)	Ingesta oral	Humano; ejercicio: 8 voluntarios sanos	Sin diferencia en pico glucémico	Jentjens et al ⁹⁸
Maltodextrina: 1,8 g/min/150 min	Sustitución: 0,6 g/min/150min (33%)	Ingesta oral	Humano; ejercicio: 8 voluntarios	Sin diferencia en pico glucémico	Wallis et al ⁹⁹

AUC: área bajo la curva; AIG: alto índice glucémico; CHO: carbohidrato.

poso ha sido explicado a causa de una incrementada translocación de la glucoquinasa hepática por efecto de la fructosa, conduciendo a un aumento de la captación hepática de la glucosa circulante¹⁰⁰. Para ello, la fructosa-1-fosfato, cuyos niveles hepáticos aumentan rápidamente tras la ingesta o infusión de fructosa¹⁰¹, se une a la proteína reguladora de la glucoquinasa, liberando a la enzima de su proteína inhibidora. Sin embargo, existe cierto consenso de que este efecto sólo ocurriría con dosis catalíticas de fructosa (< 10% del influjo total de CHO)^{92,94,100,102}.

Contrariamente, un creciente número de investigaciones que han estudiado el efecto de comidas o dietas enriquecidas con fructosa (cantidades superiores a una dosis catalítica) ha mostrado la ocurrencia de desregulaciones del metabolismo lipídico e insulinoresistencia^{103,104}. La estimulación de la lipogénesis *de novo*¹⁰⁵, un defecto en la clarificación de las lipoproteínas ricas en triglicéridos¹⁰⁶, o incluso la esterificación de los ácidos grasos derivados del metabolismo hepático de la fructosa¹⁰⁷,

son las principales explicaciones para la hipertrigliceridemia inducida por la fructosa en humanos sanos, mientras que la reducción en la sensibilidad a la insulina parece ser una consecuencia de la desregulación lipídica antes mencionada⁸⁴. En condiciones de ejercicio, nuestro grupo reportó recientemente que una dosis de fructosa (23% del influjo total de CHO en forma de glucosa) provocó un significativo incremento de la trigliceridemia, al tiempo que redujo la disponibilidad de ácidos grasos libres en sangre e incrementó el estrés oxidativo, durante y después de un ejercicio aeróbico, en individuos sanos y físicamente entrenados⁷⁹.

Por todo esto, aunque aún existe un limitado conocimiento, es posible que el beneficio de la fructosa sobre la glucemia posprandial tanto en reposo como en condiciones de ejercicio sea superado por los efectos negativos sobre el metabolismo lipídico y la oxidación de sustratos. Actualmente la fructosa es adicionada en una proporción variable (desde dosis catalíticas hasta proporciones de un 50% del influjo de CHO) junto

a CHO de AIG en numerosas bebidas deportivas^{108,109}. Sin embargo, el desconocimiento sobre el umbral a partir del cual los beneficios glucorregulatorios de la fructosa se convierten en efectos negativos sobre los lípidos y la sensibilidad a la insulina fundamenta la necesidad de más estudios, especialmente en condiciones de ejercicio físico.

Conclusiones

A partir de las evidencias analizadas acerca de la influencia del IG en el ejercicio físico, es posible realizar las siguientes conclusiones y recomendaciones:

1) La ingesta de CHO de BIG antes de un ejercicio de larga duración puede incrementar el rendimiento deportivo, preservando una glucemia más estable en el curso del ejercicio, aunque el momento exacto para esta ingesta es aún una variable que requiere ser estudiada.

2) Durante la realización de un ejercicio físico de larga duración es indiscutible la importancia de la ingesta fraccionada de CHO, aunque su característica glucémica parece carecer de relevancia, dando prioridad a la selección de CHO de fácil digestión y absorción. Posiblemente el efecto del IG de los CHO en esta fase es el que mayor investigación requiere.

3) Una dieta posterior al ejercicio o competición que contenga CHO de AIG favorece una mayor reposición de las reservas musculares de glucógeno, aunque los mecanismos que intervienen en este efecto no serían exclusivamente explicados por la RG e insulínica de los alimentos.

4) Una más rápida y mayor reposición de glucógeno puede ser alcanzada a través de un protocolo fraccionado de suplementación con CHO de AIG durante las fases agudas de recuperación al esfuerzo, en aquellos deportistas que precisan cumplir con ejercicios continuados.

5) La respuesta inflamatoria inducida por el estrés metabólico del ejercicio de larga duración es modulada por la disponibilidad de sustratos energéticos, y evidencias recientes sugieren que la ingesta de CHO de BIG puede evitar el agotamiento del glucógeno oxidativo, reduciendo el estrés muscular y la respuesta inflamatoria subsiguiente.

6) La magnitud de la RG e insulínica a los CHO ingeridos durante un ejercicio aeróbico determina la efectividad lipolítica del esfuerzo. Otros factores, como el estado de entrenamiento del músculo y el momento de la suplementación con los CHO, pueden ser claves para explicar un mayor o menor efecto del IG en la oxidación lipídica.

7) Aunque la ingesta de fructosa asociada a CHO de AIG está fundamentada por una mejora en la absorción y el rendimiento deportivo, existe evidencia de que cantidades superiores a una dosis catalítica pueden provocar alteraciones de las fracciones lipídicas, insulinoresistencia y menor oxidación de sustratos lipídicos.

Bibliografía

- Borer KT. Hormonal regulation of fuel use in exercise. En: Exercise endocrinology. Champaign, IL: Human Kinetics; 2003. p. 97-118.
- Jeukendrup AE. Carbohydrate intake during exercise and performance. *Nutrition*. 2004;20:669-77.
- Fritzsche RG, Switzer TW, Hodgkinson BJ, Lee SH, Martin JC, Coyle EF. Water and carbohydrate ingestion during prolonged exercise increase maximal neuromuscular power. *J Appl Physiol*. 2000;88(2):730-7.
- Lieberman HR, Falco CM, Slade SS. Carbohydrate administration during a day of sustained aerobic activity improves vigilance, as assessed by a novel ambulatory monitoring device, and mood. *Am J Clin Nutr*. 2002;76(1):120-7.
- Anantaraman R, Carmines AA, Gaesser GA, Weltman A. Effects of carbohydrate supplementation on performance during 1 h of high intensity exercise. *Int J Sports Med*. 1995;16:461.
- Fielding RA, Costill DL, Fink WJ, King DS, Hargreaves M, Kovaleski JE. Effect of carbohydrate feeding frequencies and dosage on muscle glycogen use during exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 1985;17:472.
- Murray R, Seifert JC, Eddy DE, Paul GL, Halaby GA. Carbohydrate feeding and exercise: effect of beverage carbohydrate content. *Eur J Appl Physiol*. 1989;59:152.
- Jenkins DJA, Wolever TMS, Taylor RH, Barker H, Fielden H, Baldwin JM, et al. Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange. *Am J Clin Nutr*. 1981;34:362-6.
- Monro J. Redefining the glycemic index for dietary management of postprandial glycemia. *J Nutr*. 2003;133:4256-8.
- Wolever TMS. Physiological mechanisms and observed health impacts related to the glycaemic index: some observations. *Int J Obes*. 2006;30:572-8.
- Alfenas RCG, Mattes RD. Influence of glycemic index/load on glycemic response, appetite, and food intake in healthy humans. *Diabetes Care*. 2005;28:2123-39.
- Ivy JL. Muscle glycogen synthesis before and after exercise. *Sports Med*. 1991;11(1):6-19.
- Burke LM, Loucks AB, Broad N. Energy and carbohydrate for training and recovery. *J Sports Sci*. 2006;24(7):675-85.
- El-Sayed MS, MacLaren D, Rattu AJ. Exogenous carbohydrate utilisation: effects on metabolism and exercise performance. *Comp Biochem Physiol A Physiol*. 1997;118(3):789-803.
- Jeukendrup AE, Raben A, Gijsen A, Stegen JH, Brouns F, Saris WH, et al. Glucose kinetics during prolonged exercise in highly trained human subjects: effect of glucose ingestion. *J Physiol*. 1999;515(Pt 2):579.
- Price TB, Rothman DL, Taylor R, Avison MJ, Shulman GI, Shulman RG. Human muscle glycogen resynthesis after exercise: insulin-dependent and -independent phases. *J Appl Physiol*. 1994;76:104-11.
- Van Loon LJ, Saris WH, Kruijshoop M, Wagenmakers AJ. Maximizing post-exercise muscle glycogen synthesis: carbohydrate supplementation and the application of amino acid or protein hydrolysate mixtures. *Am J Clin Nutr*. 2000;72:106-11.
- Burkitt DP, Trowell HC. Refined carbohydrates foods and disease. London: Academic Press; 1975.
- Trowell HC. Ischemic heart disease and dietary fibre. *Am J Clin Nutr*. 1972;25:926-32.
- Trowell HC. Dietary fibre, ischemic heart disease, and diabetes mellitus. *Proceedings of the Nutrition Society*. 1973;32:150-7.
- Trowell HC. Diabetes mellitus death rates in England and Wales 1920-1970 and food supplies. *Lancet*. 1974;ii:998-1002.
- Jenkins DJ, Wolever TM, Taylor RH, Barker HM, Fielden H. Exceptionally low blood glucose response to dried beans: comparison with other carbohydrates foods. *Br Med J*. 1980;281(6240):578-80.
- Bornet FRJ, Costagliola D, Rizkalla SW, Blayo A, Fontvieille AM, Haardt MJ, et al. Insulinemic and glycemic indexes of six starch-rich food taken alone and in a mixed meal by type 2 diabetics. *Am J Clin Nutr*. 1987;45:588-95.
- Parillo M, Giacco R, Riccardi G, Pacioni D, Rivellesse A. Different glycaemic responses to pasta, bread, and potatoes in diabetics patient. *Diabet Med*. 1985;2:374-7.
- Hermansen K, Rasmussen O, Winther E, Schmitz O. Glycemic effects of spaghetti and potato consumed as part of a mixed meal on IDMM patients. *Diabetes Care*. 1987;10:401-6.
- Brand JC, Nicholson PL, Thorburn AW, Truswell AS. Food processing and the glycemic index. *Am J Clin Nutr*. 1985;42:1192-6.
- Hoolm J, Lundquist I, Björck I, Eliasson AC, Asp NG. Degree of starch gelatinization, digestion rate of starch in vivo, and metabolic response in rats. *Am J Clin Nutr*. 1988;47:1010-6.
- Liljeberg HG, Björck IM. Delayed gastric emptying rate as a potential mechanism for lowered glycemia after eating sourdough bread: studies in humans and rats using test products with added organics acids or an organic salt. *Am J Clin Nutr*. 1996;64:886-93.
- Wolever TMS. The glycaemic index. A physiological classification of dietary carbohydrate. Wallingford, UK: Ed. Caby; 2006. p. 12-6.
- Brouns F, Björck I, Frayn KN, Gibbs AL, Lang V, Slama G, et al. Glycaemic index methodology. *Nut Res Rev*. 2005;18(1):145-71.
- Granfeldt Y, Wu X, Björck I. Determination of glycaemic index; some methodological aspects related to the analysis of carbohydrate load and characteristics of the previous evening meal. *Eur J Clin Nutr*. 2006;60(1):104-12.
- Arvidsson-Lenner R, Asp NG, Axelsen M, Bryngelsson S, Happa E, Jarvi A, et al. Glycemic index. *Scand J Nutr*. 2004;48:84-9.
- DeMarco HM, Sucher KP, Cisar CJ, Butterfield GE. Pre-exercise carbohydrate meals: application of glycemic index. *Med Sci Sports Exerc*. 1999;31(1):164-70.
- Thomas DE, Brotherhood JR, Brand JC. Carbohydrate feeding before exercise: effect of glycemic index. *Int J Sports Med*. 1991;12:180-6.
- Thomas DE, Brotherhood JR, Brand JC. Plasma glucose levels after prolonged strenuous exercise correlate inversely with glycemic response to food consumed before exercise. *Int J Sport Nutr*. 1994;4:361-73.

36. Coyle EF, Coggan AR, Hemmert MK, Ivy JL. Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. *J Appl Physiol* 1986;61:165-72.
37. Costill DL, Coyle E, Dalsky W, Fink W, Hoopes D. Effects of elevated plasma FFA and insulin on muscle glycogen usage during exercise. *J Appl Physiol*. 1977;43:695-9.
38. Coyle EF, Hagberg JM, Hurley BF, Martin WH, Ehsani AA, Holloszy JO. Carbohydrate feeding during prolonged strenuous exercise can delay fatigue. *J Appl Physiol*. 1983;55:230-5.
39. Wee SL, Williams C, Gray S, Horabin J. Influence of high and low glycemic index meals on endurance running capacity. *Med Sci Sports Exerc*. 1999;31(3):393-9.
40. Sparks MJ, Selig SS, Febbraio MA. Pre-exercise carbohydrate ingestion: effect of the glycemic index on endurance exercise performance. *Med Sci Sports Exerc*. 1998;30(6):844-9.
41. Febbraio MA, Keenan J, Angus DJ, Campbell SE, Garnham AP. Preexercise carbohydrate ingestion, glucose kinetics, and muscle glycogen use: effect of the glycemic index. *J Appl Physiol*. 2000;89(5):1845-51.
42. Kirwan JP, O'Gorman D, Evans WJ. A moderate glycemic meal before endurance exercise can enhance performance. *J Appl Physiol*. 1998;84(1):53-9.
43. Kirwan JP, Cyr-Campbell D, Campbell WW, Scheiber J, Evans WJ. Effects of moderate and high glycemic index meals on metabolism and exercise performance. *Metabolism*. 2001;50(7):849-55.
44. Jeukendrup A, Brouns F, Wagenmakers AJ, Saris WH. Carbohydrate-electrolyte feedings improve 1 h time trial cycling performance. *Int J Sports Med*. 1997;18:125-9.
45. Bergstrom J, Hultman E. A study of the glycogen metabolism during exercise in man. *Scand J Clin Lab Invest*. 1967;19:218-28.
46. Hawley JA, Bosch AN, Weltan SM, Dennis SC, Noakes TD. Glucose kinetics during prolonged exercise in euglycaemic and hyperglycaemic subjects. *Pflugers Arch*. 1994;426:378-86.
47. Coyle EF, Hamilton MT, Alonso JG, Mountain SJ, Ivy JL. Carbohydrate metabolism during intense exercise when hyperglycemic. *J Appl Physiol*. 1991;70:834-40.
48. Massicotte D, Péronnet F, Bronsard E, Hillaire-Marcel C. Comparaison de l'oxydation de glucose, d'un mélange de glucosa et de fructosa, et de saccharose ingérées en bolus ou en doses fractionnées au cours de l'exercice. *Sci Sports*. 1996;11:233-42.
49. Earnest CP, Lancaster SL, Rasmussen CJ, Kerkick CM, Lucia A, Greenwood MC, et al. Low vs. high glycemic index carbohydrate gel ingestion during simulated 64-km cycling time trial performance. *J Strength Cond Res*. 2004;18(3):466-72.
50. Burke LM, Claassen A, Hawley JA, Noakes TD. Carbohydrate intake during prolonged cycling minimizes effect of glycemic index of preexercise meal. *J Appl Physiol*. 1998;85(6):2220-6.
51. Radziuk J, Bondy DC. Abnormal oral glucose tolerance and glucose malabsorption after vagotomy and pyloroplasty. *Gastroenterology*. 1982;83:1017-25.
52. Ivy JL, Holloszy JO. Persistent increase in glucose uptake by rat skeletal muscle following exercise. *Am J Physiol Cell Physiol*. 1981;241:C200-3.
53. Lund S, Holman GD, Schmitz O, Pedersen O. Contraction stimulates translocation of glucose transporter GLUT-4 in skeletal muscle through a mechanism distinct from that of insulin. *Proc Natl Acad Sci*. 1995;92:5817-21.
54. Zachwieja JJ, Costill DL, Pascoe DD. Influence of muscle glycogen depletion on the rate of resynthesis. *Med Sci Sports Exerc*. 1991;23:44-8.
55. Ivy JL, Katz AL, Cutler CL, Sherman WM, Coyle EF. Muscle glycogen synthesis after exercise: effect of time of carbohydrate ingestion. *J Appl Physiol*. 1988;64:1480-5.
56. Keizer H, Kuipers H, Kranenburg GV. Influence of liquid and solid meals on muscle glycogen resynthesis, plasma fuel hormone response, and maximal physical working capacity. *Int J Sports Med*. 1987;8:99-104.
57. Kochan RG, Lamb DR, Lutz SA, Perrill CV, Reimann EM, Schlender KK. Glycogen synthase activation in human skeletal muscle: effects of diet and exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab Gastrointest Physiol*. 1979;237:E660-6.
58. Burke LM, Collier GR, Hargreaves M. Muscle glycogen storage after prolonged exercise: effect of the glycemic index of carbohydrate feedings. *J Appl Physiol*. 1993;75(2):1019-23.
59. Burke LM, Collier GR, Davis PG, Fricker PA, Sanigorski AJ, Hargreaves M. Muscle glycogen storage after prolonged exercise: effect of the frequency of carbohydrate feedings. *Am J Clin Nutr*. 1996;64(1):115-9.
60. Ritz P, Krempf M, Cloarec D, Champ M, Charbonnel B. Comparative continuous-indirect-calorimetry study of two carbohydrates with different glycemic indices. *Am J Clin Nutr*. 1991;54(5):855-9.
61. Anderson GH, Catherine NL, Woodend DM, Wolever TM. Inverse association between the effect of carbohydrates on blood glucose and subsequent short-term food intake in young men. *Am J Clin Nutr*. 2002;76(5):1023-30.
62. Roberts SB. High glycemic index foods, hunger and obesity: is there a connection? *Nutr Rev*. 2000;58:163-9.
63. Kiens B, Richter EA. Types of carbohydrate in an ordinary diet affect insulin action and muscle substrates in humans. *Am J Clin Nutr*. 1996;63(1):47-53.
64. Bishop NC, Blannin AK, Robson PJ, Walsh NP, Gleeson M. Effects of carbohydrate and fluid intake on the blood leucocyte responses to prolonged cycling. *J Sports Sci*. 1999;17:26-7.
65. Nieman DC. Influence of carbohydrate on the immune responses to intensive, prolonged exercise. *Exerc Immunol Rev*. 1998;4:64-76.
66. Bishop NC, Walsh NP, Haines DL, Richards EE, Gleeson M. Preexercise carbohydrate status and immune responses to prolonged cycling. II. Effect on plasma cytokine concentration. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2001;11:503-12.
67. Chen YJ, Wong SH, Chan CO, Wong CK, Lam CW, Siu PM. Effects of glycemic index meal and CHO-electrolyte drink on cytokine response and run performance in endurance athletes. *J Sci Med Sport*. 2008 Sep 12. [Epub ahead of print].
68. Wee SL, Williams C, Tsintzas K, Boobis L. Ingestion of a high-glycemic index meal increases muscle glycogen storage at rest but augments its utilization during subsequent exercise. *J Appl Physiol*. 2005;99(2):707-14.
69. Anderson KM, Faber JE. Differential sensitivity of arteriolar α_1 - and α_2 -adrenoceptor constriction to metabolic inhibition during rat skeletal muscle contraction. *Circ Res*. 1991;69:174-84.
70. Kingwell BA. Nitric oxide-mediated metabolic regulation during exercise: effects of training in health and cardiovascular disease. *Faseb J*. 2000;14:1685-96.
71. Vincent MA, Dawson D, Clark AD, Lindner JR, Rattigan S, Clark MG, et al. Skeletal muscle microvascular recruitment by physiological hyperinsulinemia precedes increases in total blood flow. *Diabetes*. 2002;51:42-8.
72. Barbe P, Millet L, Galitzky J, Lafontan M, Berlan M. In situ assessment of the role of beta-1, beta-2 and beta-3 adrenoceptors in the control of lipolysis and nutritive blood flow in human subcutaneous adipose tissue. *Br J Pharmacol*. 1996;117:907-13.
73. Campbell PJ, Carlson MG, Hill JO, Nurjhan N. Regulation of free fatty acid metabolism by insulin in humans: role of lipolysis and reesterification. *Am J Physiol*. 1992;263:E1063-9.
74. Arner P, Kriegholm E, Engfeldt P, Bolinder J. Adrenergic regulation of lipolysis in situ at rest and during exercise. *J Clin Invest*. 1990;85:893-8.
75. Stevenson E, Williams C, Nute M. The influence of the glycaemic index of breakfast and lunch on substrate utilisation during the postprandial periods and subsequent exercise. *Br J Nutr*. 2005;93:885-93.
76. Wu CL, Nicholas C, Williams C, Took A, Hardy L. The influence of high-carbohydrate meals with different glycaemic indices on substrate utilisation during subsequent exercise. *Br J Nutr*. 2003;90:1049-56.
77. Backhouse SH, Williams C, Stevenson E, Nute M. Effects of the glycemic index of breakfast on metabolic responses to brisk walking in females. *Eur J Clin Nutr*. 2007;61(5):590-6.
78. Stevenson EJ, Williams C, Mash LE, Phillips B, Nute ML. Influence of high-carbohydrate mixed meals with different glycemic indexes on substrate utilization during subsequent exercise in women. *Am J Clin Nutr*. 2006;84(2):354-60.
79. Fernández JM, Da Silva-Grigoletto ME, Ruano-Ruiz J, Caballero-Villarraso J, Moreno-Luna R, Tunez-Fiñana I, et al. Fructose modifies the hormonal response and modulates lipid metabolism in aerobic exercise after glucose supplementation. *Clin Sci (Lond)*. 2008 Jun 5. [Epub ahead of print].
80. Mettler S, Lamprecht-Rusca F, Stoffel-Kurt N, Wenk C, Colombani PC. The influence of the subjects' training state on the glycemic index. *Eur J Clin Nutr*. 2007;61(1):19-24.
81. Okano G, Takeda H, Morita I, Katoh M, Mu Z, Miyake S. Effect of pre-exercise fructose ingestion on endurance performance in fed men. *Med Sci Sports Exerc*. 1988;20:105-9.
82. Delarue J, Normand S, Pachioudi C, Beylot M, Lamisse F, Riou JP. The contribution of naturally labelled ^{13}C fructose to glucose appearance in humans. *Diabetologia*. 1993;36(4):338-45.
83. Nuttall FQ, Khan MA, Gannon MC. Peripheral glucose appearance rate following fructose ingestion in normal subjects. *Metabolism*. 2000;49(12):1565-71.
84. Lê KA, Tappy L. Metabolic effects of fructose. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2006;9:469-75.
85. Ravich WJ, Bayless TM, Thomas M. Fructose: incomplete intestinal absorption in humans. *Gastroenterology*. 1983;84(1):26-9.
86. Truswell AS, Seach JM, Thorburn AW. Incomplete absorption of pure fructose in healthy subjects and the facilitating effect of glucose. *Am J Clin Nutr*. 1988;48(6):1424-30.
87. Skoog SM, Bharucha AE. Dietary fructose and gastrointestinal symptoms: a review. *Am J Gastroenterol*. 2004;99:2046-50.
88. Riby JE, Fujisawa T, Kretschmer N. Fructose absorption. *Am J Clin Nutr*. 1993;58:748S-53.
89. Fujisawa T, Mulligan K, Wada L, Schumacher L, Riby J, Kretschmer N. The effect of exercise on fructose absorption. *Am J Clin Nutr*. 1993;58:75-9.
90. Riddell MC, Bar-Or O, Wilk B, Parolin ML, Heigenhauser GJ. Substrate utilization during exercise with glucose and glucose plus fructose ingestion in boys ages 10-14 yr. *J Appl Physiol*. 2001;90:903-11.

91. Jentjens RL, Moseley L, Waring RH, Harding LK, Jeukendrup AE. Oxidation of combined ingestion of glucose and fructose during exercise. *J Appl Physiol*. 2004;96:1277-84.
92. Moore MC, Cherrington AD, Mann SL, Davis SN. Acute fructose administration decreases the glycemic response to an oral glucose tolerance test in normal adults. *J Clin Endocrinol Metab*. 2000;85:4515-9.
93. Moore MC, Davis SN, Mann SL, Cherrington AD. Acute fructose administration improves overall glucose tolerance in adults with type 2 diabetes. *Diabetes Care*. 2001;24:1882-7.
94. Shiota M, Moore MC, Galassetti P, Monohan M, Neal DW, Shulman GI, et al. Inclusion of low amounts of fructose with an intraduodenal glucose load markedly reduces postprandial hyperglycemia and hyperinsulinemia in the conscious dog. *Diabetes*. 2002;51(2):469-78.
95. Heacock PM, Hertzler SR, Wolf BW. Fructose prefeeding reduces the glycemic response to a high-glycemic index, starchy food in humans. *J Nutr*. 2002;132:2601-4.
96. Masakazu S, Galassetti P, Igawa K, Neal DW, Cherrington AD. Inclusion of low amounts of fructose with an intraportal glucose load increases net hepatic glucose uptake in the presence of relative insulin deficiency in dog. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2005;288:E1160-7.
97. Wolf BW, Humphrey PM, Hadley CW, Maharry KS, Garleb KA, Firkins JL. Supplemental fructose attenuates postprandial glycemia in Zucker fatty fa/fa rats. *J Nutr*. 2002;132:1219-23.
98. Jentjens RL, Underwood K, Achten J, Currell K, Mann CH, Jeukendrup AE. Exogenous carbohydrate oxidation rates are elevated after combined ingestion of glucose and fructose during exercise in the heat. *J Appl Physiol*. 2006;100:807-16.
99. Wallis GA, Rowlands DS, Shaw C, Jentjens RL, Jeukendrup AE. Oxidation of combined ingestion of maltodextrins and fructose during exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2005;37(3):426-32.
100. Shiota M, Galassetti P, Moore MC, Monohan M, Cherrington AD. Small amounts of fructose markedly improve glucose tolerance in the dog. *Diabetes*. 1997;46:49A.
101. Shiota M, Galassetti P, Monohan M, Neal DW, Cherrington AD. Small amounts of fructose markedly improve net hepatic glucose uptake in the conscious dog. *Diabetes*. 1998;47:867-73.
102. Petersen KF, Laurent D, Yu C, Cline GW, Shulman GI. Stimulating effects of low-dose fructose on insulin-stimulated hepatic glycogen synthesis in humans. *Diabetes*. 2001;50(6):1263-8.
103. Elliott SS, Keim NL, Stern JS, Teff K, Havel PJ. Fructose, weight gain, and the insulin resistance syndrome. *Am J Clin Nutr*. 2002;76:911-22.
104. Daly M. Sugars, insulin sensitivity, and the postprandial state. *Am J Clin Nutr*. 2003;78(4):865S-72S.
105. Schwarz JM, Neese R, Shackleton CH. De novo lipogenesis during fasting and oral fructose in lean and obese hyperinsulinemic subjects. *Diabetes*. 1993;42 Suppl: 39A.
106. Frayn KN, Kingman SM. Dietary sugars and lipid metabolism in humans. *Am J Clin Nutr*. 1995;62:250S-61S.
107. Chong MFF, Fielding BA, Frayn KN. Mechanisms for the acute effect of fructose on postprandial lipemia. *Am J Clin Nutr*. 2007;85:1511-20.
108. Bantle JP. Is fructose the optimal low glycemic index sweetener? En: Bantle JP, Slama G, editors. *Nestle Nutr Workshop Ser Clin Perform Programme*. Vevey, Switzerland: Karger; 2006.
109. Applegate EA, Grivetti LE. Search for the competitive edge: a history of dietary fads and supplements. *J Nutr*. 1997;127(5 Suppl):869S-73S.



Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Rev Andal Med Deporte. 2008;1(3):125-7

www.elsevier.es/ramd



Estudio de caso

Trombosis de la vena central de la retina en el deporte. A propósito de un caso

J. de D. Beas Jiménez^a, R. A. Centeno Prada^a, M. E. da Silva Grigoletto^b, J. R. Gómez Puerto^b, B. Viana Montaner^b y C. Melero Romero^c

^aCentro Andaluz de Medicina del Deporte. Sevilla. España.

^bCentro Andaluz de Medicina del Deporte. Córdoba. España.

^cCentro Andaluz de Medicina del Deporte. Málaga. España.

Historia del artículo:

Recibido el 15 de agosto de 2008

Aceptado el 11 de octubre de 2008

Palabras clave:

Coagulopatía.

Deporte.

Trombosis vena central retina.

Hiperhomocisteinemia.

Key words:

Coagulopathy.

Sport.

Central retinal vein thrombosis.

Hyperhomocystinemia.

RESUMEN

Se presenta un caso clínico de un deportista que sufrió una trombosis de la vena central de la retina en su ojo derecho. Se analizan las posibles relaciones de la hiperhomocisteinemia en la aparición de fenómenos trombóticos en deportistas y se sugiere la consideración de estos fenómenos en la realización de reconocimientos médicos de aptitud deportiva y en el seguimiento médico de deportistas de alto rendimiento.

© 2008 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

ABSTRACT

We report a case of an athlete who suffered a thrombosis of the central retinal vein in his right eye. The possible connections of hyperhomocysteinemia in the occurrence of thrombotic events in sports are analyzed and taking these phenomena into account when conducting medical examinations for fitness to practice sports and during medical monitoring of high-performance athletes is suggestion.

© 2008 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

Correspondencia:

J. D. Beas Jiménez.

Centro Andaluz de Medicina del Deporte.

Glorieta Beatriz Manchón, s/n. (CAR)

41092 Sevilla. España.

Correo electrónico:

juand.beas@juntadeandalucia.es.

Introducción

La trombosis de la vena central de la retina (TVCR) es una urgencia oftalmológica infrecuente en el deporte, no obstante se han descrito casos en maratonianos^{1,2}, buceadores³ y montañeros⁴.

Existen dos tipos de TVCR, la isquémica y la no isquémica, empero los casos que son de difícil clasificación se denominan como de tipo indeterminado.

Como factores de riesgo para padecer la TVCR se han señalado la hipertensión arterial, la diabetes mellitus y el glaucoma de ángulo abierto. Como factores de riesgo específicos para padecer la forma isquémica de la TVCR se han señalado la enfermedad cardiovascular, anomalías en el electrocardiograma, antecedentes de diabetes mellitus o tratamiento de la misma, niveles elevados de glucemia, índices bajos de albúmina/globulina, elevación de la alfa-1-globulina e hipertrigliceridemia. La hipertensión sistémica incrementa el riesgo de TVCR no isquémica^{5,6}.

Como factores protectores frente a la TVCR han sido descritos el incremento de los niveles de actividad física y, en mujeres, el consumo de estrógenos tras la menopausia. No obstante, la ausencia de algún factor de riesgo en pacientes con TVCR en algunas series alcanza el 41% de los casos⁷. En individuos jóvenes los factores de riesgo que se han relacionado con trombosis retiniana son trastornos tales como la deficiencia de proteínas C, S y antitrombina III, mutaciones en el factor V de Leiden o aumento de la homocisteína sérica.

En la actualidad, la posible relación de niveles elevados de homocisteína con fenómenos trombofílicos permanece poco investigada en deportistas, pese a que en este tipo de personas, las consecuencias de estos fenómenos pueden resultar agravadas por la práctica deportiva.

Se describe un caso de TVCR de tipo no isquémica en un jugador de rugby joven y se discuten las posibles consideraciones en el despistaje de estados protrombóticos que se pueden agravar por la práctica deportiva.

Caso clínico

Referimos el caso clínico de un varón deportista de 23 años de edad, jugador de rugby, que entrena con regularidad desde los 7 años de edad; actualmente realiza unas 12 horas de entrenamiento a la semana.

Entre sus antecedentes familiares cabe destacar que su padre padece cardiopatía isquémica e hipertensión arterial esencial y su madre cáncer de útero. No refiere antecedentes familiares conocidos de trastornos de la coagulación sanguínea ni de otros factores de riesgo cardiovascular.

En cuanto a los antecedentes médicos personales, no presenta ninguno de interés, especialmente se constató ausencia de antecedentes de hipertensión arterial, dislipemia, diabetes, trastornos autoinmunes y trombofílicos. Además, el deportista refiere no haber ingerido anabolizantes ni otras sustancias dopantes en ninguna ocasión y los meses previos al incidente no había realizado dieta ni restricción de alimento alguno.

El deportista no refiere incidencias médicas de interés hasta que tras un partido de rugby, en el que no sufrió lesión o traumatismo de relevancia, experimenta una brusca y completa pérdida de visión en el ojo derecho, sin otra sintomatología acompañante. Valorado en el Servicio de Urgencias del hospital de referencia, es remitido al Servicio de Oftalmología del mismo, en el que es diagnosticado de TVCR de tipo no isquémico.

Durante la estancia hospitalaria, el deportista fue sometido a diversas exploraciones tales como electrocardiograma (ECG), técnicas de imagen (ecodoppler, ecocardiograma) y una amplia batería de pruebas de laboratorio (hemograma, velocidad de sedimentación globular, bioquímica, per-

fil lipídico, estudio de la coagulación y homocisteína, serología para virus de la inmunodeficiencia humana [VIH], de la hepatitis B [VHB] y C [VHC] y de Epstein-Barr [VEB]), además de diversas pruebas inmunológicas (inmunoglobulinas séricas, factores del complemento, inmunocomplejos circulantes antiestreptolisina O, proteína C reactiva, factor reumatoide, anticuerpos anticardiolipina, antinucleares y antiADN, anticoagulante lúcido y serología de lúes RPR [reaginina plasmática rápida]).

Todas las exploraciones y técnicas de laboratorio presentaron resultados normales, salvo la determinación de la homocisteína plasmática total en ayunas, en la que se pudo evidenciar un valor para este parámetro de 32 $\mu\text{mol/l}$ (hiperhomocisteinemia intermedia).

Ante los hallazgos analíticos se le propuso al deportista tratamiento médico con suplementos dietéticos y farmacológicos de ácido fólico (1 mg/día), piridoxina (25 mg/día) y vitamina B₁₂ (0,5 mg/día) y se programaron revisiones periódicas para valorar la evolución de la agudeza visual, de las complicaciones retinianas y de los niveles de homocisteína. La agudeza visual del deportista en el ojo afectado no se ha recuperado, no ha requerido tratamiento con láser y con los suplementos propuestos se han normalizado los niveles plasmáticos de homocisteína. Pese a la recomendación de no realizar deportes de contacto (ojo funcional único), el deportista sigue practicando rugby.

Discusión

La aparición de fenómenos trombóticos y de sus consecuencias, en relación con el ejercicio, no es algo infrecuente. El ejercicio puede motivar la aparición de esos fenómenos ya sea por diversos factores predisponentes o por microtraumas repetidos sobre estructuras vasculares. El comportamiento del sistema de la coagulación en relación con el ejercicio depende del tipo, la duración y la intensidad de este y de si se realiza de forma aguda o regular. Aunque en situaciones normales la práctica de ejercicio regular previene la trombosis^{8,9}, existen múltiples casos descritos en la literatura que indican algún tipo de relación entre el ejercicio y la generación de trombosis en situaciones predisponentes tales como diversas alteraciones de la coagulación¹⁰ (la resistencia a la activación de la proteína C o mutaciones en el factor II de la coagulación^{11,12}), o el uso de anticonceptivos¹³, o de anabolizantes¹⁴.

Tikhomirova et al, en un estudio en el que compararon ciclistas con pacientes que habían sufrido fenómenos de trombosis venosa profunda (TVP)¹⁵, demostraron que los componentes plasmáticos que favorecen la coagulación (proteína C y antitrombina III), en deportistas mostraban niveles inferiores que en el grupo de pacientes con fenómenos trombóticos, de lo que se podría deducir que el ejercicio regular tendría un papel protector frente a estos procesos trombóticos. Por otro lado, también ha quedado demostrado que durante el ejercicio se produce un incremento de la agregación plaquetaria¹⁶ y una activación de la coagulación mediada por el ejercicio prolongado que parece estar favorecida por la activación de las células endoteliales por factores mecánicos relacionados con el ejercicio¹⁷. En resumen, el deportista tiene durante el ejercicio un predominio de los fenómenos trombofílicos y, después de la práctica deportiva, de los trombofílicos.

En otras circunstancias el ejercicio puede inducir una TVP; el factor desencadenante de esta suele ser un microtraumatismo repetido sobre estructuras vasculares, frecuentemente venas, motivando la aparición de un cuadro clínico también conocido como trombosis de esfuerzo, con denominaciones particulares según su localización, como la de síndrome de Paget-Schroetter cuando afecta al sistema venoso axilo-subclavio^{13,18,19}.

En el caso particular que analizamos, no es posible establecer de una forma incuestionable la relación causa-efecto entre los niveles altos de

homocisteína y la aparición de la TVCR, pero siendo el único hallazgo en el deportista, podríamos sospechar que la alteración del metabolismo de los folatos podría tener alguna relación con la patogenia del caso clínico que nos ocupa.

La relación de niveles elevados de homocisteína en plasma con un aumento del riesgo cardiovascular fue ya sugerida por McCully en 1969²⁰. Los mecanismos que se han relacionado con este efecto nocivo sobre la pared vascular son la lesión de las células endoteliales²¹, el incremento en la adhesividad plaquetaria²², el aumento de la oxidación de lipoproteínas de baja densidad (LDL) en las células de la pared arterial²³, o por activación directa de la cascada de la coagulación²⁴. En investigaciones previas, en pacientes coronarios, se ha podido demostrar un incremento de la mortalidad de un 24,7% en 4,6 años, cuando los niveles de homocisteína eran superiores a 15 $\mu\text{mol/l}$ ²⁵.

La relación de los niveles plasmáticos de homocisteína con el ejercicio sigue siendo controvertida, considerando algunos autores^{26,27} que la hiperhomocisteinemia observada en deportistas es una adaptación al entrenamiento, aunque no se puede excluir su papel como factor de riesgo cardiovascular y su posible relación con una ingesta deficiente de folatos. Sin embargo, otros autores²⁸ sostienen que esta elevación se relaciona inversamente con la ingesta de folatos, dándole un papel secundario al ejercicio en este aumento. El uso continuado de esteroides anabolizantes se ha relacionado con una elevación de los niveles de homocisteína plasmática en culturistas y un incremento en su riesgo cardiovascular²⁹.

El efecto del ejercicio físico sobre los niveles plasmáticos totales de homocisteína parece ser diferente si se parte de valores altos, situación en la que el ejercicio aeróbico los disminuye, o si se parte de valores normales (menores de 15 $\mu\text{mol/l}$), situación en la que los incrementa levemente³⁰.

En el caso clínico que presentamos no pretendemos afirmar una relación causa-efecto de la hiperhomocisteinemia con la aparición de la TVCR, como es lógico un caso aislado no puede ser suficiente para establecer esta relación, no obstante sí constituye un hecho que nos debe hacer pensar en las diversas implicaciones que los trastornos trombofílicos pueden tener en los deportistas.

La realización de reconocimientos médicos de aptitud física nos exige la consideración de muy diversas situaciones clínicas que se pueden ver agravadas por la práctica deportiva; cada día, a las patologías más conocidas como causantes de muerte súbita, se van sumando otras nuevas que es preciso conocer por las graves implicaciones que puede tener, para la salud del deportista, que pasen desapercibidas. Los trastornos trombofílicos, entre los que se encuentra la hiperhomocisteinemia, pueden tener graves consecuencias para la salud de los deportistas por la aparición de fenómenos trombóticos (TVCR o la TVP), o incluso muerte súbita mediada por fenómenos tromboembólicos ateromatosis³¹. Con estos argumentos deberíamos recomendar la incorporación, en la anamnesis de nuestros reconocimientos médicos, de preguntas encaminadas al despistaje de antecedentes familiares y personales de fenómenos trombofílicos y del tipo de dieta que sigue el deportista, la recomendación de analíticas específicas (vitamina B₁₂ y ácido fólico) en los reconocimientos médicos de deportistas de alto nivel, y en estos últimos el estudio por especialistas de la dieta que realizan, todo ello encaminado a detectar posibles déficits de folatos que nos podrían sugerir la existencia de hiperhomocisteinemias reversibles con las modificaciones dietéticas adecuadas.

Bibliografía

- Gaudard A, Varlet-Marie E, Monnier JF, Janbon Ch, Quéré I, Bressolle F, et al. Exercise-induced central retinal vein thrombosis: possible involvement of

- hemorrhological disturbances. A case report. *Clin Hemorheol Microcirc.* 2002;27(2):115-22.
- Jampol LM, Fleischman JA. Central retinal-vein occlusion five days after a marathon. *N Engl J Med.* 1981;305(13):764.
- Merle H, Dault JN, Gerard M, Alliot E, Mehdaoui H, Elisabeth L. Retinal vein occlusion and deep-sea diving. *J Fr Ophtalmol.* 1997;20(6):456-60.
- Butler FK, Harris DJ Jr, Reynolds RD. Altitude retinopathy on Mount Everest, 1989. *Ophthalmology* 1992;99(5):739-46.
- The Eye Disease Case-Control Study Group. Risk factors for central retinal vein occlusion. *Arch Ophthalmol.* 1996;114(5):545-54.
- Nagra PK, Ho AC, Dugan JD Jr. Lipemia retinalis associated with branch retinal vein occlusion. *Am J Ophthalmol.* 2003;135(4):539-42.
- Cobo R, Aparicio MJ, Seoane E, Sánchez-Ramón S, Vidal P, Teijeiro MA, et al. Trombosis retiniana en pacientes jóvenes. Aspectos inmunológicos y clínicos. *Arch Soc Esp Oftalmol.* 2001;76:181-6.
- Van Stralen KJ, Le Cessie S, Rosendaal FR, Doggen CJ. Regular sports activities decrease the risk of venous thrombosis. *J Thromb Haemost.* 2007;5(11):2186-92.
- De Geus EJ, Klufft C, de Bart AC, van Doomen LJ. Effects of exercise training on plasminogen activator inhibitor activity. *Med Sci Sports Exerc.* 1992;24(11):1210-9.
- Wong C, Bracker M. Coagulopathy presenting as calf pain in a racquetball player. *J Fam Pract.* 1993;37(4):390-3.
- Hilberg T, Jeschke D, Gabriel HHW. Hereditary thrombophilia in elite athletes. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34(2):218-21.
- De Caterina M, Grimaldi E, Passaretti M, Ruocco A, Selvetella L, Cavallaro V, et al. Four cases of venous thrombosis in athletes with silent hereditary defects of the protein C system. *Thromb Haemost.* 2005;94(2):463-4.
- Frémont B, Pacouret G, De Labriolle A, Magdelaine B, Puglisi R, Charbonnier B. Exercise deep venous thrombosis: myth or reality? About three cases of pulmonary embolism in long-distance runners. *Arch Mal Coeur Vaiss.* 2007;100(6-7):519-23.
- Sahraian MA, Mottamedi M, Azimi AR, Moghimi B. Androgen-induced cerebral venous sinus thrombosis in a young body builder: case report. *BMC Neurol.* 2004;4(1): 22.
- Tikhomirova SV, Vikulov AD, Baranov AA, Osetrov IA. Plasma-coagulation hemostasis in physically active subjects during adaptation to physical exercise. *Human Physiology.* 2007;33(6):736-41.
- Ahmadizad S, El-Sayed MS. The effects of graded resistance exercise on platelet aggregation and activation. *Med Sci Sport Exerc.* 2003;35(6):1026-32.
- Weiss C, Welsch B, Albert M, Friedmann B, Strobel G, Jost J, et al. Coagulation and thrombomodulin in response to exercise of different type and duration. *Med Sci Sport Exerc.* 1998;30(8):1205-10.
- Toya N, Fujita T, Ohki T. Push-up exercise induced thrombosis of the subclavian vein in a young woman: report of a case. *Surg Today.* 2007;37(12):1093-5.
- Shebel ND, Marin A. Effort thrombosis (Paget-Schroetter syndrome) in active young adults: current concepts in diagnosis and treatment. *J Vasc Nurs.* 2006;24(4):116-26.
- McCully KS. Vascular pathology of homocysteinemia: implications for the pathogenesis of arteriosclerosis. *Am J Pathol.* 1969;56:111-28.
- Dudman NP, Hicks C, Lynch JF, Wilcken DE, Wang J. Homocysteine thiolactone disposal by human arterial endothelial cells and serum in vitro. *Arterioscler Thromb.* 1991;11:663-70.
- Brenton D, Cusworth D, Gaull G. Homocystinuria: metabolic studies on three patients. *J Paediatr.* 1966;67:58-68.
- Tsai JC, Perella JM, Yoshizumi M, Hsieh CM, Haber E, Schlegel R, et al. Promotion of vascular smooth muscle cell growth by homocysteine: a link to atherosclerosis. *Prot Natl Acad Sci USA.* 1994;91:6369-73.
- Rodgers G, Conn M. Homocysteine, and atherogenic stimulus, reduces protein C activation by arterial and venous endothelial cells. *Blood.* 1990; 75:895-901.
- Nygaard O, Nordrehaug JE. Plasma homocysteine levels and mortality in patients with coronary artery disease. *N Engl J Med.* 1997;337:230-6.
- Borrione P, Pigozzi F, Massazza G, Schouhuber H, Viberti G, Paccotti, et al. Hyperhomocysteinemia in winter elite athletes: a longitudinal study. *J Endocrinol Invest.* 2007;30(5):367-75.
- Borrione P, Rizzo M, Spaccamiglio A, Salvo RA, Dovio A, Termine A, et al. Sport-related hyperhomocysteinemia: a putative marker of muscular demand to be noticed for cardiovascular risk. *Br J Sports Med.* 2008 Jan 23 [Epub ahead of print].
- Rousseau AS, Robin S, Roussel AM, Ducros V, Margaritis I. Plasma homocysteine is related to folate intake but not training status. *Nutr Metab Cardiovasc Dis.* 2005;15(2):125-33.
- Graham MR, Grace FM, Boobier W, Hullin D, Kicman A, Cowan D, et al. Homocysteine induced cardiovascular events: a consequence of long term anabolic-androgenic steroid (AAS) abuse. *Br J Sports Med.* 2006;40:644-8.
- Okura T, Rankinen T, Gagnon J, Lussier-Cacan S, Davignon J, Leon AS, et al. Effect of regular exercise on homocysteine concentrations: the HERITAGE Family Study. *Eur J Appl Physiol.* 2006;98(4):394-401.
- Ferenchick G, Schwartz D, Ball M, Schwartz K. Androgen-anabolic steroid abuse and platelet aggregation: a pilot study in weight lifters. *Am J Med Sci.* 1992;303:78-82.



Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Rev Andal Med Deporte. 2008;1(3):128

www.elsevier.es/ramd



Nuestro punto de vista

Dinámicas no lineales en fisiología humana

Los humanos nos sentimos seguros tratando de conocer y controlar todas las variables de un sistema, y cuando esto no es así lo atribuimos al azar. Pero la teoría del caos determinista puso de relieve que existe otro tipo de fenómenos que, sin ser azarosos, resultan impredecibles más allá de un cierto horizonte, ya que la complejidad de las variables que lo condicionan no nos permite conocer con precisión las condiciones iniciales. Por otra parte, estos sistemas se caracterizan no sólo por la gran complejidad de las condiciones, sino por la extrema sensibilidad a cualquier mínimo cambio en ellas. En un sistema no caótico cada estado inicial da origen a un recorrido único y bien distinguible de los demás, irreproducible con otro dato inicial por muy parecido que sea al primero, mientras que en un sistema caótico no es que haya muchas variables iniciales, sino que los parámetros del sistema son extremadamente sensibles a ellas.

El análisis teórico de los sistemas caóticos ha aportado conceptos nuevos y más potentes para analizar el comportamiento real de sistemas complejos como los biológicos.

En general, las señales biológicas fluctúan de forma aparentemente aleatoria, pero se han llevado a cabo estudios que han demostrado que no se trata de ruido, sino de caos determinista. Así, se han estudiado las ondas electroencefalográficas, las ondas electrocardiográficas, las fluctuaciones del sistema inmunológico y otros muchos biorritmos presentes en la fisiología humana, y parece que la no linealidad es la característica de la mayor parte de los procesos e interacciones que se producen en los sistemas biológicos. Pero quizá lo más importante es el descubrimiento de que el cese de estas fluctuaciones es síntoma de mal funcionamiento y está asociado a la enfermedad y al envejecimiento.

Se piensa que los organismos vivos mantienen un alto grado de organización, incluso estando expuestos a condiciones externas muy cambiantes (clima, alimento, esfuerzo físico, etc.), porque siguen un modelo caótico y estos modelos dotan al sistema de una alta flexibilidad que le confiere una apariencia constante pese a los cambios a los que está sometido y a las miles de interacciones que en él se producen. Este concep-

to puede resultar contradictorio con la idea de la homeostasis, aunque los sistemas caóticos en determinados momentos pueden organizarse dando lugar a periodos "ordenados", es decir, homeostáticos.

Siguiendo el principio de homeostasis, inicialmente se interpretaron las fluctuaciones del ritmo cardíaco como respuestas transitorias en un intento de adaptación de este órgano a las situaciones cambiantes por las que atraviesa el individuo en su actividad diaria, por lo que el ritmo cardíaco tendería a estabilizarse en una pauta constante cuando cesara todo tipo de perturbación circunstancial. Sin embargo, hoy sabemos que en ausencia total de estímulos perturbadores el corazón es intrínsecamente caótico. Al comienzo de la aplicación de la teoría del caos a la fisiología cardíaca, estos nuevos modelos no lineales se consideraron apropiados para entender las arritmias; sin embargo, contrariamente a estas suposiciones iniciales, la evidencia pronto indicó que la dinámica de las arritmias no es caótica, mientras que el ritmo cardíaco de un sujeto sano estudiado latido a latido sí lo es.

El estudio de las dinámicas no lineales abre muchos campos de aplicación a la Medicina y la Biología y está siendo utilizado para investigar las alteraciones del sistema nervioso autónomo en diabéticos con neuropatía autónoma vascular; las características de la marcha en patologías como la esclerosis lateral amiotrófica, la enfermedad de Parkinson o la enfermedad de Huntington; los patrones de la señal electroencefalográfica en patologías como la epilepsia; el comportamiento de la señal del latido cardíaco en patologías; el riesgo de caídas en personas de edad; etc.

Es una magnífica oportunidad para fomentar el estudio y estimular la investigación en estos temas aplicados a la actividad física y el deporte en campos como la adaptación y la tolerancia al ejercicio, el diagnóstico del sobreentrenamiento, el análisis de la marcha en la lesión deportiva y tantos otros.

Comité Editorial Revista Andaluza de Medicina del Deporte



Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Rev Andal Med Deporte. 2008;1(3)

www.elsevier.es/ramd



Normas

Normas de Publicación de la Revista Andaluza de Medicina del Deporte

La Revista Andaluza de Medicina del Deporte es la publicación oficial del Centro Andaluz de Medicina del Deporte (órgano dependiente de la Consejería de Turismo, Comercio y Deporte, Junta de Andalucía). Su periodicidad es cuatrimestral.

INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

Se considerarán para publicación aquellos trabajos originales, enviados exclusivamente a la Revista Andaluza de Medicina del Deporte y que estén relacionados con las Ciencias del Deporte. El trabajo habrá de acompañarse, por tanto, de una carta en la que se exponga que no ha sido enviado, ni se está enviando, a otro medio para su publicación.

La revista incluye, de forma regular, artículos sobre investigación clínica o básica (originales), revisiones y cartas al editor.

Todas las contribuciones originales serán evaluadas antes de ser aceptadas por revisores expertos designados por los Editores, en un sistema anónimo de revisión por pares.

Los trabajos admitidos para publicación quedarán en propiedad del Centro Andaluz de Medicina del Deporte y su reproducción total o parcial deberá ser convenientemente autorizada. Para tal efecto, antes de la publicación en la revista, el autor(es) deberá(n) firmar y enviar un formulario de transferencia de copyright.

ENVÍO DE LOS TRABAJOS (MANUSCRITOS)

Los trabajos deberán ser enviados exclusivamente por correo electrónico (e-mail) a la Revista Andaluza de Medicina del Deporte (ramd.ctcd@juntadeandalucia.es), acompañados de una carta de presentación dirigida al Editor Jefe en la que se solicite el examen del mismo para su publicación en la Revista, especificándose el tipo de artículo que envía (Original, Revisión o Carta al Editor). Igualmente, los autores habrán de confirmar que se trata de un trabajo original que no ha sido previamente publicado total o parcialmente, ni se está enviando para su publicación en otro medio.

Idioma de la Publicación: la Revista Andaluza de Medicina del Deporte publica trabajos en Español, Inglés y Portugués.

Ética: los autores firmantes de los artículos aceptan la responsabilidad definida por el Comité Internacional de Editores de Revistas Médicas (ver www.icmje.org). Los trabajos que se envían a la Revista Andaluza de Medicina del Deporte para su evaluación deben haberse elaborado respetando las recomendaciones internacionales sobre investigación clínica y con animales de laboratorio (Declaración de Helsinki, revisada en 2004; ver www.wma.net). No se asumirá res-

ponsabilidad de ningún tipo por parte de los editores de la Revista Andaluza de Medicina del Deporte sobre daños o perjuicios causados a personas o equipos derivados del uso, ideas, procedimientos u operación de cualquier tipo realizados en el trabajo a ser publicado.

Conflicto de intereses: cuando exista alguna relación entre los autores de un artículo y cualquier entidad pública o privada, de la que pudiera derivarse algún potencial conflicto de intereses, esta circunstancia debe ser comunicada al Editor.

PREPARACIÓN DEL MANUSCRITO

Todos los manuscritos se adecuarán a las normas de publicación. Se entiende que el primer firmante de la publicación se responsabiliza de la normativa y que el resto de los autores conoce, participa y está de acuerdo con el contenido del manuscrito.

Es importante leer atentamente estas instrucciones, ya que los manuscritos que no las cumplan serán devueltos por la Coordinación Editorial antes de enviarlos a los revisores.

Formato (presentación del documento): Deberá ser un documento en formato electrónico, con el texto en Word y las figuras en formato JPG. Es necesario que esté numerado en el ángulo superior derecho y todos los márgenes han de tener una medida de 2,5 cm.

La extensión del texto variará según la sección a la que vaya destinado:

- a) Originales: máximo 6.000 palabras, 6 figuras y 6 tablas.
- b) Revisiones: máximo 6.000 palabras, 6 figuras y 6 tablas. En caso de necesitar una mayor extensión se recomienda comunicarse con el comité editorial de la revista.
- c) Estudio de casos: entre 1.500 y 2.000 palabras, 4 figuras y 4 tablas.
- d) Cartas al Editor: máximo de 1.000 palabras.

Los manuscritos deben seguir la siguiente estructura general:

1. Portada*
2. Resumen estructurado en español y palabras clave*
3. Resumen estructurado en inglés y palabras clave *
4. Texto
5. Bibliografía
6. Agradecimientos (opcional)
7. Tablas (opcional)
8. Figuras (opcional)

* Si el idioma del manuscrito fuese portugués habrá de incluirse, igualmente, un resumen estructurado y palabras clave en los idiomas español e inglés.

– Primera página (Portada):

Figurarán exclusivamente y por este orden los siguientes datos: Título del trabajo (español e inglés), “titulillo” (*running title*) que no ha de tener más de 60 caracteres, nombre y apellidos de los autores que deberán ir escritos en el siguiente orden:

Primer nombre, iniciales del segundo nombre si lo hubiese, seguido del apellido(s); centro de trabajo y dirección completa. Además, habrá que facilitar el e-mail del autor para la correspondencia.

– Segunda página:

Resumen del trabajo en español e inglés, que tendrá una extensión máxima de 250 palabras. El resumen ha de estructurarse en cuatro apartados: a) Objetivos; b) Método; c) Resultados, y d) Conclusiones.

Al final de cada resumen se especificarán de tres a diez palabras clave, en castellano e inglés, derivadas preferentemente del *Medical Subject Headings* (MeSH) de la *National Library of Medicine* (ver http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/me_shbrowser.cgi)

– Texto: variará según la sección a que se destine:

- a) Originales: constará de una Introducción, Método, Resultados y Discusión; caso los autores deseen realizar agradecimientos, éstos deberán figurar al final del texto.
- b) Revisiones: el texto se dividirá en todos aquellos apartados que el autor considere necesarios para una perfecta comprensión del tema tratado.
- c) Estudio de casos: el autor incluirá los apartados que considere necesarios para la total comprensión del tema tratado.
- d) Cartas al Editor: tendrán preferencia en esta sección la discusión de trabajos publicados en los dos últimos números con la aportación de opiniones y experiencias.
- e) Otras: secciones específicas por encargo del comité editorial de la revista.

– Bibliografía:

Las referencias han de numerarse de forma consecutiva según el orden de aparición en el texto. En el cuerpo del artículo constará siempre la numeración de la cita en número arábigo en supíndice, independientemente que vayan los nombres de los autores mencionados o no.

En los casos que se mencione el nombre de los autores, se seguirán las siguientes normas:

– De tratarse de un trabajo realizado por dos personas, mencionar a ambos.

Ejemplo: según Vaamonde y Oehninger¹ el ejercicio físico intenso puede causar ...

– De tratarse de más de dos autores, citar el primero seguido de la abreviatura “et al.”.

Ejemplo: según Vaamonde et al¹. el ejercicio físico intenso puede causar ...

Las citas bibliográficas se expondrán siguiendo el modelo Vancouver (versión en castellano en www.metodo.uab.es)

Ejemplo:

Da Silva-Grigoletto ME, Gómez-Puerto JR, Viana-Montaner BH, Armas-Negrin JA, Ugrinowitsch C, García-Manso JM. Comportamiento de diferentes manifestaciones de la resistencia en el voleibol a lo largo de una temporada, en un equipo profesional. *Rev Andal Med Deporte*. 2008; 1(1):3-9.

Otros ejemplos de la bibliografía se pueden ver en http://www.nlm.nih.gov/bsd/uniform_requirements.html

– Tablas:

Se enviarán en un nuevo archivo, deberán ir numeradas, el título se indicará en la parte superior, y las abreviaturas descritas en la parte inferior. Las notas aclaratorias irán al pie y deberán estar ordenadas en números arábigos de acuerdo con su orden de aparición en el texto.

– Figuras

Leyenda de las figuras

Las leyendas (pies) de las figuras (incluyendo las abreviaturas utilizadas) se incluirán en el documento principal en una hoja aparte a continuación de las tablas.

Figuras y otros materiales gráficos.

Tanto las gráficas como las fotografías (fotos) son consideradas figuras.

Las figuras pueden confeccionarse con cualquier programa informático pero deben enviarse en formato jpg, con una calidad mínima de 300 dpi. Cada figura debe ir en una página. Las figuras serán en blanco y negro, aunque cuando esté justificado podrán aceptarse fotos en color. Además, se pide a los autores que envíen cada figura en un archivo aparte cuyo nombre será el número de la figura (por ejemplo: figura1.jpg).

La Coordinadora Editorial de la Revista Andaluza de Medicina del Deporte comunicará la recepción de los trabajos enviados e informará sobre el resultado de aceptación y fecha posible de su publicación.

La Dirección de la Revista Andaluza de Medicina del Deporte no se responsabiliza de los conceptos, opiniones o afirmaciones sostenidos por los autores de sus trabajos.

Es conveniente que los autores acudan a un número reciente de la revista por si se produjese alguna modificación a las normas de publicación, y para que puedan acceder a un artículo publicado como ejemplo.

Actualizada en diciembre de 2008.



Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Rev Andal Med Deporte. 2008

www.elsevier.es/ramd



Guidelines

Publication Guidelines of the Revista Andaluza de Medicina del Deporte (Andalusian Journal of Sport's Medicine)

Medicine (organization dependent on the Tourism, Commerce and Sport's Council, Board of Andalusia). It is published every four months.

INSTRUCTIONS FOR THE AUTHORS

Those original works, sent exclusively to the Revista Andaluza de Medicina del Deporte and that are related with the Sciences of Sports will be considered for publication. The work must therefore be accompanied by a letter that states that it has not been sent, or is being sent, to any other media for its publication.

The Journal regularly includes articles on clinical or basic (original) research, reviews and letters to the editor.

All original contributions will be evaluated by peer reviewers named by the Editors before they are accepted, in an anonymous type peer reviews system.

The works admitted for publication will remain as property of the Andalusian Center of Sport's Medicine and its total or partial reproduction must be adequately authorized. For such effect, the author(s) must sign and send a copyright transference form before its publication in the Journal.

SENDING OF THE WORKS (MANUSCRIPTS)

The works should only be sent by E-mail to the Revista Andaluza de Medicina del Deporte (ramd.ctcd@juntadeandalucia.es), accompanied by a letter of presentation addressed to The Editor in Chief in which its examination for publication in the Journal is requested (Original, Review or Letter to the Editor). Equally, the authors must confirm that it is an original work that has not been totally or partially published previously nor is being sent for its publication in another media.

Language of the Publication: Revista Andaluza de Medicina del Deporte publishes works in Spanish, English and Portuguese.

Ethics: The signing authors of the articles accept the responsibility defined by the International Committee of Medical Journals Publishers (see www.icmje.org). The works that are sent to the Revista Andaluza de Medicina del Deporte for evaluation should have been written respecting the international recommendations on clinical research and with laboratory animals (Declaration of Helsinki, reviewed in 2004; see www.wma.net). No responsibility of any type is assumed by the publishers of the Revista Andaluza de Medicina del Deporte on damages or harm caused to persons or equipment derived

from the use, ideas, procedures or operation of any type conducted in the work to be published.

Conflict of interests: When there is any relationship between the authors of an article or any public or private company, from which any potential conflict of interest may be derived, this circumstance should be communicated to the Editor.

PREPARATION OF THE MANUSCRIPT

All the manuscripts must be adapted to the publication guidelines. It is understood that the first signer of the publication will be responsible for the guidelines and that the remaining authors know, participate and agree with the content of the manuscript.

The instructions need to be read carefully since those manuscripts that do not comply with them will be returned by the Editorial Coordination before being sent to the reviewers.

Format (document presentation): The document must have an electronic format, with the text written in Word and the figures in JPG format. These must be numbered in the upper right corner and all the margins must measure 2.5 cm.

The text extension will vary according to the section that it is going to be published in:

- Originals: maximum 6,000 words, 6 figures in 6 tables.
- Reviews: maximum 6,000 words, 6 figures in 6 tables. If a longer extension is needed, it is recommended that the authors should speak with the editorial committee of the Journal.
- Cases study: 1,500 to 2,000 words, 4 figures and 4 tables.
- Letters to the editor: maximum of 1,000 words.

The manuscripts should have the following general structure:

- Front Page*
- Structured summary in Spanish and key words*
- Structure summary in English and key words*
- Text
- References
- Acknowledgments (optional)
- Tables (optional)
- Figures (optional)

* If the language of the manuscript is Portuguese, a structured summary and key words in the Spanish and English language must also be included.

- First page (Front page):

The first page can only have the following data that should go in the following order:

Work title (Spanish to English), "running title" that is no longer than 60 characters, name and last names of the authors that should be written in the following order:

First name, initials of the second name if any, followed by last name(s); work site and complete address. In addition, an E-mail of the author must be provided for correspondence.

- Second page:

Summary of the work in Spanish and English, which must have a maximum extension of 250 words. This summary must be structured into four sections: a) Objectives; b) Methods; c) Results and d) Conclusions

At the end of each summary, 3 to 10 key words must be given in Spanish and English, preferentially derived from the Medical Subject Headings (MeSH) of the National Library of Medicine (see http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/me_shbrowser.cgi).

- Text: it will vary according to the section in which it will be published:

- a) Originals: This should be an Introduction, Method, Results and Discussion; if the authors want to make acknowledgments, these should be inserted at the end of the text.
- b) Reviews: The text should be divided into all of those Sections that the author considers necessary for perfect understanding of the subject in question.
- c) Cases study: The author will include the sections considered necessary for the total understanding of the subject in question.
- d) Letters to the editor: preference will be given in this Section to discussion of the works published in the last two numbers with the contribution of opinions and experiences.
- e) Others: Specific sections requested by the editorial committee of the Journal.

- References:

The references must be numbered consecutively according to order of appearance in the text. In the body of the article, the numbering of the citations must always be in arabic number in superscript, regardless of whether the names of the authors are mentioned or not.

If the name of the authors is mentioned, the following guidelines must be followed:

- If the work is conducted by two persons, mention both.

For example: According to Vaamonde and Oehninger¹ intense physical exercise may cause...

- If it is more than two authors, mention the first followed by the abbreviation "et al".

Example: According to Vaamonde et al¹ intense physical exercise may cause...

Bibliographic citations should be given following the Vancouver model (version in Spanish in www.metodo.uab.es).

Example: Da Silva-Grigoletto ME, Gómez-Puerto JR, Viana-Montaner BH, Armas-Negrin JA, Ugrinowitsch C, García-Manso JM. Comportamiento de diferentes manifestaciones de la resistencia en el voleibol a lo largo de una temporada, en un equipo profesional. Rev Andal Med Deporte. 2008 1(1):3-9.

Other examples of the bibliography can be seen in http://www.nlm.nih.gov/bsd/uniform_requirements.html

- Tables:

These should be sent in a new file, be numbered, the title should be given in the upper part and the abbreviations described in the lower part. The clarification notes should go at the bottom of the page and be ordered with Arabic numbers in accordance with their order of appearance in the text.

- Figures

Figure legend

The legends (footnotes) of the figures (including the abbreviations used) should be included in the principal document on a separate page from that of the tables.

Figures and other graphic material.

Both graphs as well as the photographs (photos) are considered figures.

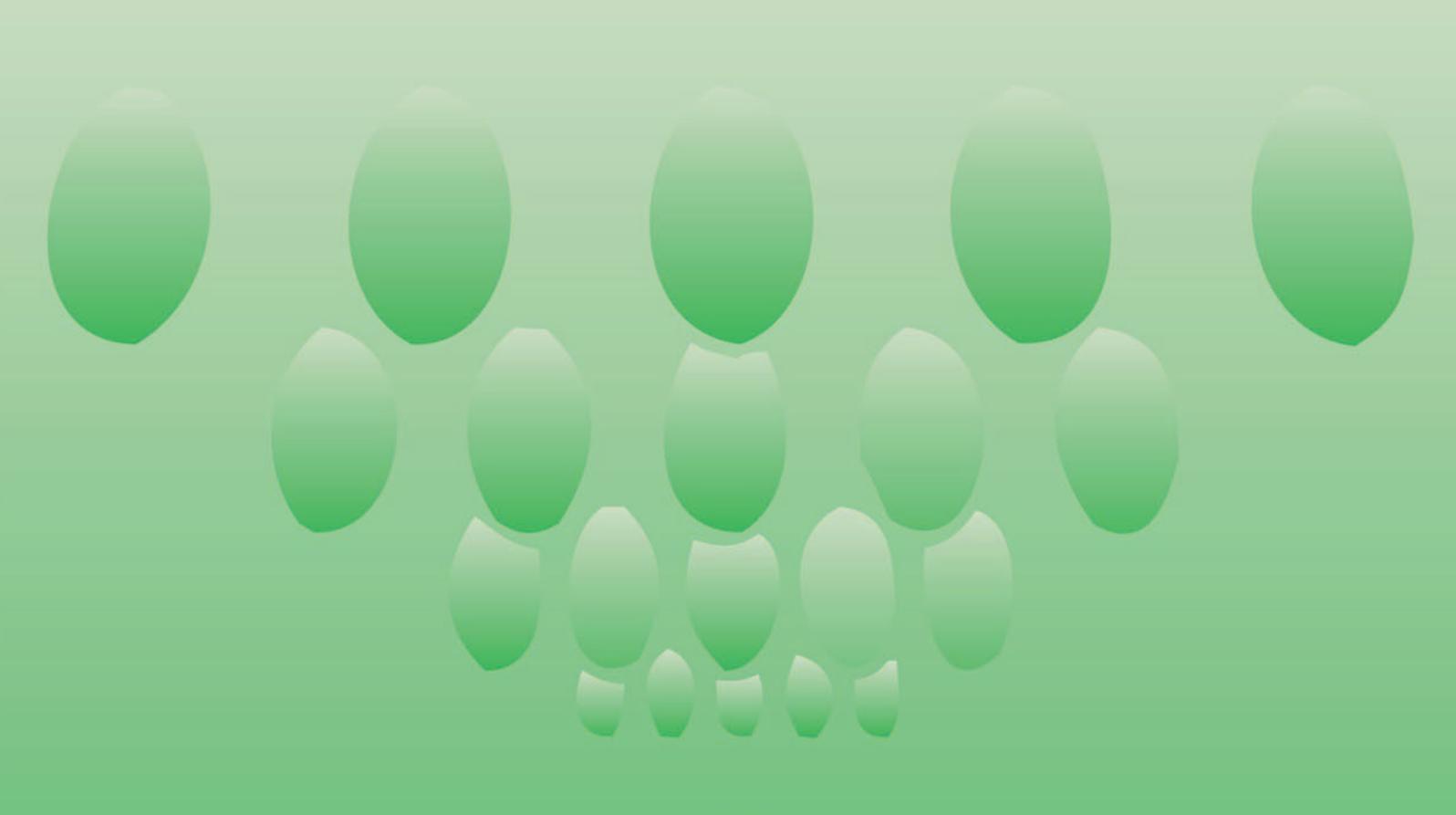
The figures may be made with any computer program but should be sent in jpg format, with a minimum quality of 300 dpi. Each figure should be in black and white, although when it is justified, they may be accepted in color. Furthermore, the authors will be asked to send each figure in a separate file whose name should be the number of the figure (for example figure1.jpg)

The Editorial Coordinator of Revista Andaluza de Medicina del Deporte will inform on the receipt of the work and will inform on the result of acceptance and possible date of its publication.

The director of the Revista Andaluza de Medicina del Deporte will not be responsible for the concepts, opinions or statements made by the authors in their works.

It would be convenient for the authors to consult a recent number of the Journal to verify if any changes have been made in the publication guidelines and to be able to access a published article that can be used as an example.

Up-dated on December, 2008





JUNTA DE ANDALUCÍA

CONSEJERÍA DE TURISMO, COMERCIO Y DEPORTE

CENTRO ANDALUZ DE MEDICINA DEL DEPORTE

Glorieta Beatriz Manchón s/n
(Isla de la Cartuja)
41092 SEVILLA

Teléfono
955 062 025

Fax
955 062 034

Correo electrónico
camd.ctcd@juntadeandalucia.es